

**ESTUDIO DE CRECIENTES Y CÁLCULO DE NIVELES MÁXIMOS EN LA  
QUEBRADA CASIRBA EN EL CRUCE SOBRE LA VÍA LA CABUYA-SÁCAMA EN EL  
DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

**LAURA CRISTINA FUENTES FONTECHA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2019**

**ESTUDIO DE CRECIENTES Y CÁLCULO DE NIVELES MÁXIMOS EN LA  
QUEBRADA CASIRBA EN EL CRUCE SOBRE LA VÍA LA CABUYA-SÁCAMA EN EL  
DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

**LAURA CRISTINA FUENTES FONTECHA**

**Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.**

**ASESOR: JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO**

**INGENIERO CIVIL, MSC.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2019**



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C., Noviembre de 2019.



## Dedicatoria

A la Universidad Católica de Colombia por aceptarme en su alma mater, a los docentes que día a día hicieron parte de este trayecto para formarme como especialista y al Ingeniero Jesús Torres por permitirme recurrir a sus capacidades y conocimientos para guiarme en este transcurso.

## Agradecimientos

Primero que todo a Dios por protegerme durante todo el camino, a mis padres y hermana por guiarme y darme la fortaleza, y a todas las personas que de una u otra forma han contribuido para la culminación de este objetivo. Este trabajo es fruto de esfuerzo y dedicación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>20</b>
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Antecedentes del problema.....	20
1.2.2 Pregunta de investigación.....	21
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.4 OBJETIVOS.....	22
1.4.1 Objetivo general.....	22
1.4.2 Objetivos específicos .....	22
<b>2 MARCOS DE REFERENCIA .....</b>	<b>23</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	23
2.1.1 Caracterización Morfométrica.....	23
2.1.1.1 Área de drenaje (área de cuenca).....	23
2.1.1.2 Orientación .....	23
2.1.1.3 Factor de Forma (Kf).....	24
2.1.1.4 Coeficiente de compacidad (kc) .....	24
2.1.1.5 Tiempo de concentración.....	25
2.1.2 Parámetros de Drenaje .....	26
2.1.2.1 Orden de los cauces .....	26
2.1.2.2 Densidad de drenaje (Dd) .....	27
2.1.2.3 Longitud del cauce principal.....	27
2.1.2.4 Índice de sinuosidad .....	27
2.1.3 Parámetros de relieve.....	28
2.1.3.1 Elevación .....	28
2.1.3.2 Elevación media .....	28
2.1.3.3 Pendiente: .....	29
2.1.4 Caracterización Hidrológica.....	29
2.1.4.1 Sistemas lénticos .....	29
2.1.4.2 Sistemas lóticos .....	29
2.1.4.3 Caudal.....	29
2.1.5 Variables y parámetros para modelación hidrológica.....	30

2.1.5.1	Precipitación .....	30
2.1.5.2	Distribución espacial de la precipitación .....	31
2.1.5.3	Distribución temporal de la precipitación .....	31
2.1.5.4	Número de Curva (CN) .....	31
2.2	MARCO GEOGRÁFICO .....	34
2.3	MARCO DEMOGRÁFICO .....	37
2.3.1	<i>Sácama</i> .....	37
2.3.2	<i>Hato Corozal</i> .....	39
2.3.3	<i>Paz de Ariporo</i> .....	40
2.3.4	<i>Pore</i> .....	41
2.3.5	<i>Yopal</i> .....	42
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>44</b>
3.1	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....	44
3.2	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....	44
3.3	FASES DEL TRABAJO .....	45
3.3.1	<i>Consulta, revisión, evaluación y adquisición de información existente</i> .....	45
3.3.2	<i>Consulta de estudios previos y/o información base requerida</i> .....	45
3.3.3	<i>Caracterización morfométrica de la cuenca de estudio</i> .....	46
3.3.3.1	Parámetros morfométricos .....	46
3.3.3.2	Parámetros de drenaje .....	46
3.3.3.3	Parámetros de Relieve .....	46
3.3.4	<i>Caracterización Hidrológica</i> .....	46
3.3.5	<i>Caracterización Climatológica</i> .....	47
3.4	MODELACIÓN HIDROLÓGICA .....	47
3.5	MODELACIÓN HIDRÁULICA .....	48
3.6	DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS .....	48
<b>4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA.....</b>	<b>49</b>
4.1	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS .....	49
4.1.1	<i>Orientación, Área de drenaje, Factor forma, Coeficiente de compacidad:</i> .....	49
4.1.2	<i>Tiempo de Concentración</i> .....	51
4.1.3	<i>Orden de los cauces</i> .....	51
4.1.4	<i>Densidad de drenaje (Dd), Índice de Sinuosidad</i> .....	52
4.1.5	<i>Longitud y pendiente del cauce principal</i> .....	52

4.2	PARÁMETROS DE RELIEVE .....	53
4.2.1	<i>Elevación media de la cuenca</i> .....	53
4.2.2	<i>Pendiente media de la cuenca</i> .....	54
<b>5</b>	<b>CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA .....</b>	<b>56</b>
5.1	VARIABLES Y PARÁMETROS PARA MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	56
5.1.1	<i>Análisis de Precipitación</i> .....	56
5.1.1.1	Precipitación total .....	58
5.1.1.2	Precipitación No. de días .....	61
5.1.1.3	Precipitación maxima .....	63
5.1.2	<i>Distribución espacial de la Precipitación</i> .....	71
5.1.3	<i>Análisis de Caudales. (Caudal base)</i> .....	73
5.1.4	<i>Cálculo de Curvas IDF (Intensidad de la Precipitación)</i> .....	76
5.1.5	<i>Análisis de Número de curva - CN</i> .....	78
5.1.5.1	Clasificación Hidrológica de los suelos.....	78
5.1.5.2	Uso y tratamiento del suelo .....	79
5.1.6	<i>Método del hidrograma Unitario del SCS</i> .....	81
5.1.6.1	Tormenta de diseño .....	83
5.1.6.2	Distribución espacial de precipitación y reducción por área.....	84
5.1.7	<i>Método de Bloques Alternos</i> .....	86
<b>6</b>	<b>CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA.....</b>	<b>88</b>
6.1	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN .....	88
6.2	ANÁLISIS DE PARÁMEROS .....	90
6.2.1	<i>Brillo solar</i> .....	90
6.2.2	<i>Evaporación</i> .....	91
6.2.3	<i>Humedad Relativa</i> .....	92
6.2.4	<i>Nubosidad</i> .....	93
6.2.5	<i>Punto de Rocío</i> .....	95
6.2.6	<i>Temperatura Media</i> .....	95
6.2.7	<i>Temperatura Máxima</i> .....	97
6.2.8	<i>Temperatura Mínima</i> .....	98
6.2.9	<i>Tensión Vapor</i> .....	99
6.2.10	<i>Velocidad del viento</i> .....	100
<b>7</b>	<b>MODELACIÓN HIDROLÓGICA .....</b>	<b>101</b>

7.1	MODELO 1 (TR 2.33 CNII (B)).....	102
7.1.1	Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 2,33 años. ....	102
7.1.2	Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 2,33 años. ....	103
7.2	MODELO 2 (TR 2.33 CNII (C)).....	104
7.2.1	Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 2,33 años. ....	105
7.2.2	Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 2,33 años. ....	105
7.3	MODELO 3 (TR 50 CNII (B)).....	106
7.3.1	Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años. ....	106
7.3.2	Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años. ....	107
7.4	MODELO 4 (TR 50 CNII (C)).....	108
7.4.1	Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 50 años. ....	109
7.4.2	Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 50 años. ....	109
7.5	MODELO 5 (TR 100 CNII (B)).....	110
7.5.1	Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 100 años. ....	111
7.5.2	Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 100 años. ....	111
7.6	MODELO 6 (TR 100 CNII (C)).....	112
7.6.1	Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 100 años. ....	113
7.6.2	Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 100 años. ....	113
7.7	MODELOS PARA CONDICIONES EXTREMAS (CNIII (C)).....	115
7.7.1	Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 2.33 años.....	116
7.7.2	Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 50 años.....	116
7.7.3	Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 100 años.....	117
<b>8</b>	<b>MODELACIÓN HIDRÁULICA.....</b>	<b>119</b>
8.1	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD $\eta$ DE MANNING.....	120
8.2	GÁLIBOS .....	121
8.3	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	121
8.3.1	Perfil y sección del flujo.....	122
8.4	ANÁLISIS DE POSIBLE CONTROL HIDRÁULICO .....	124
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>127</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>135</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>136</b>
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>137</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SÁCAMA Y HATO COROZAL EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE	34
FIGURA 2-2. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA.....	36
FIGURA 2-3. ESTADO DE LA ESTRUCTURA SOBRE LA QUEBRADA CASIRBA .....	37
FIGURA 4-1. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA.....	50
FIGURA 4-2. MAPA DE ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA .....	54
FIGURA 4-3. MAPA DE PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA.....	55
FIGURA 5-1. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS CERCANAS A LA CUENCA DE ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA.....	57
FIGURA 5-2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL - ESTACIÓN LA CABUYA .....	58
FIGURA 5-3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL - ESTACIÓN PTE QUEMADO .....	59
FIGURA 5-4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL - ESTACIÓN LA AGUADA.....	60
FIGURA 5-5. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL - ESTACIÓN LA AGUADA.....	60
FIGURA 5-6. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE NO. DÍAS CON PRECIPITACIÓN - ESTACIÓN LA CABUYA .....	61
FIGURA 5-7. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE NO. DÍAS CON PRECIPITACIÓN - ESTACIÓN PTE QUEMADO .....	62
FIGURA 5-8. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE NO. DÍAS CON PRECIPITACIÓN - ESTACIÓN LA AGUADA.....	62
FIGURA 5-9. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE NO. DÍAS CON PRECIPITACIÓN - ESTACIÓN LA AGUADA.....	63
FIGURA 5-10. POLÍGONOS DE THIESSEN SOBRE LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA.....	64
FIGURA 5-11. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HR- ESTACIÓN LA CABUYA.....	65
FIGURA 5-12. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HR- ESTACIÓN PTE QUEMADO .....	66
FIGURA 5-13. PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS AJUSTADAS A DIFERENTES FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD – ESTACIÓN LA CABUYA .....	70
FIGURA 5-14. PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS AJUSTADAS A DIFERENTES FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD – ESTACIÓN PTE QUEMADO.....	70
FIGURA 5-15. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES E ISOYETAS EN LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA ...	72
FIGURA 5-16. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS. ESTACIÓN PTE CARRETERA.....	74
FIGURA 5-17. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA CUENCA DE LA ESTACIÓN CERCANA (PTE CARRETERA) Y DE LA CUENCA EN ESTUDIO (QDA. CASIRBA) .....	75
FIGURA 5-18. CURVAS IDF. ESTACIÓN LA CABUYA.....	78

FIGURA 5-19. ANÁLISIS DE CN PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. QDA CASIRBA .....	81
FIGURA 5-20. HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR DEL SCS .....	82
FIGURA 5-21. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN DEL SCS .....	83
FIGURA 5-22. CURVAS PADF. PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS. ....	85
FIGURA 6-1. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA EN ESTUDIO. QUEBRADA CASIRBA .....	89
FIGURA 6-2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL BRILLO SOLAR – ESTACIÓN PAZ DE ARIPORO .....	91
FIGURA 6-3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE EVAPORACIÓN – ESTACIÓN PAZ DE ARIPORO.....	92
FIGURA 6-4. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA .....	93
FIGURA 6-5. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA NUBOSIDAD .....	94
FIGURA 6-6. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE PUNTO DE ROCÍO .....	95
FIGURA 6-7. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA.....	96
FIGURA 6-8. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA.....	97
FIGURA 6-9. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA .....	98
FIGURA 6-10. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TENSIÓN VAPOR .....	99
FIGURA 6-11. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE VELOCIDAD (M/S).....	100
FIGURA 7-1. MODELO EN HEC-HMS DE LA CUENCA DE LA QDA CASIRBA.....	102
FIGURA 7-2. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNII GRUPO B DE 57,4 Y TR DE 2,33 AÑOS. ....	103
FIGURA 7-3. MODELO METODOLOGÍA DE BA, CON CNII GRUPO B DE 57,4 Y TR DE 2,33 AÑOS.....	104
FIGURA 7-4. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNII GRUPO C DE 71,2 Y TR DE 2,33 AÑOS. ....	105
FIGURA 7-5. MODELO METODOLOGÍA DE BA, CON CNII GRUPO C DE 71,2 Y TR DE 2,33 AÑOS.....	106
FIGURA 7-6. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNII GRUPO B DE 57,4 Y TR DE 50 AÑOS. ....	107
FIGURA 7-7. MODELO METODOLOGÍA DE BA, CON CNII GRUPO B DE 57,4 Y TR DE 50 AÑOS. ....	108
FIGURA 7-8. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNII GRUPO C DE 71,2 Y TR DE 50 AÑOS. ....	109
FIGURA 7-9. MODELO METODOLOGÍA DE BA, CON CNII GRUPO C DE 71,2 Y TR DE 50 AÑOS. ....	110
FIGURA 7-10. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNII GRUPO B DE 57,4 Y TR DE 50 AÑOS. ....	111
FIGURA 7-11. MODELO METODOLOGÍA DE BA, CON CNII GRUPO B DE 57,4 Y TR DE 50 AÑOS. ....	112
FIGURA 7-12. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNII GRUPO C DE 71,2 Y TR DE 100 AÑOS. ....	113
FIGURA 7-13. MODELO METODOLOGÍA DE BA, CON CNII GRUPO C DE 71,2 Y TR DE 100 AÑOS. ....	114
FIGURA 7-14. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNIII Y TR DE 2.33 AÑOS. ....	116



FIGURA 7-15. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNIII Y Tr DE 50 AÑOS. ....	117
FIGURA 7-16. MODELO METODOLOGÍA DE SCS, CON CNIII Y Tr DE 100 AÑOS.....	118
FIGURA 8-1. PLANTA DEL LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	119
FIGURA 8-2. PERFIL HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA CASIRBA (Tr=100AÑOS) .....	122
FIGURA 8-3. SECCIÓN HIDRÁULICA DE LA QUEBRADA CASIRBA (Tr=100AÑOS).....	123
FIGURA 8-4. PERFIL Y SECCIÓN HIDRÁULICA DE LA QUEBRADA CASIRBA. TENIENDO EN CUENTA EL RÍO CASANARE CON NIVEL DE 6 M COMO UN POSIBLE CONTROL HIDRÁULICO .....	125
FIGURA 9-1. VARIACIÓN DE VELOCIDADES DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA .....	132
FIGURA 9-2. ZONAS AFECTADAS POR INUNDACIÓN. DEPARTAMENTO DEL CASANARE. (IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2014) .....	133
FIGURA 9-3. VARIACIÓN DE NIVELES DEL RÍO CASANARE. INFORME HIDROLÓGICO DIARIO No. 134, 2016.....	134

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1. CATEGORÍAS DE CLASIFICACIÓN DEL COEFICIENTE DE COMPACIDAD.....	25
TABLA 2-2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN. ECUACIONES. ....	25
TABLA 2-3. CATEGORÍAS DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE SINUOSIDAD .....	28
TABLA 2-4. PRECIPITACIÓN ACUMULADA PARA TRES NIVELES DE CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE .....	33
TABLA 4-1. CARACTERIZACIÓN PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS.....	50
TABLA 4-2. CATEGORÍAS DE CLASIFICACIÓN DEL COEFICIENTE DE COMPACIDAD.....	50
TABLA 4-3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN CUENCA QUEBRADA CASIRBA .....	51
TABLA 4-4. CARACTERIZACIÓN PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS, DD E ÍNDICE DE SINUOSIDAD.....	52
TABLA 4-5. CATEGORÍAS DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE SINUOSIDAD .....	52
TABLA 4-6. RANGOS APROXIMADOS DE LA PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL .....	53
TABLA 4-7. RANGOS APROXIMADOS DE LA PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA.....	55
TABLA 5-1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS .....	57
TABLA 5-2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL (MM). ESTACIÓN LA CABUYA .....	58
TABLA 5-3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL (MM). ESTACIÓN PTE QUEMADO.....	59
TABLA 5-4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL (MM). ESTACIÓN LA AGUADA.....	60
TABLA 5-5. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN TOTAL (MM). ESTACIÓN LA AGUADA.....	60
TABLA 5-6. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE No. DÍAS CON PRECIPITACIÓN (DÍAS). ESTACIÓN LA CABUYA.....	61
TABLA 5-7. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE No. DÍAS CON PRECIPITACIÓN (DÍAS). ESTACIÓN PTE QUEMADO .....	62
TABLA 5-8. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE No. DÍAS CON PRECIPITACIÓN (DÍAS). ESTACIÓN LA AGUADA .....	63
TABLA 5-9. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE No. DÍAS CON PRECIPITACIÓN (DÍAS). ESTACIÓN LA AGUADA .....	63
TABLA 5-10. ÁREAS SOBRE LA CUENCA DE ESTUDIO. QDA CASIRBA .....	65
TABLA 5-11. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HR (MM). ESTACIÓN LA CABUYA .....	65
TABLA 5-12. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HR (MM). ESTACIÓN PTE QUEMADO.....	66
TABLA 5-13. PRUEBA DE DATOS DUDOSOS. ESTACIÓN LA CABUYA .....	68
TABLA 5-14. PRUEBA DE DATOS DUDOSOS. ESTACIÓN PTE QUEMADO .....	69
TABLA 5-15. DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS CON DISTRIBUCIÓN GUMBEL .....	71
TABLA 5-16. DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS EN LA CUENCA DE ESTUDIO.....	71
TABLA 5-17. ESTACIONES BASE PARA ISOYETAS TOTALES ANUALES (MM) .....	72

TABLA 5-18. CAUDALES BASE MÁXIMOS DIARIOS PARA LA CUENCA QDA CASIRBA.....	75
TABLA 5-19. COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN DE REGIONALIZACIÓN DE LAS IDF.....	77
TABLA 5-20. DATOS DE LLUVIA DE LA ESTACIÓN EN ESTUDIO PARA ELABORAR LAS CURVAS IDF.....	77
TABLA 5-21. VALORES DE INTENSIDADES MÁXIMAS. ESTACIÓN LA CABUYA .....	77
TABLA 5-22. CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE SUELO PRESENTES EN LA CUENCA DE LA QDA CASIRBA .....	79
TABLA 5-23. CLASIFICACIÓN DE USO DE SUELO PRESENTES EN LA CUENCA DE LA QDA CASIRBA .....	79
TABLA 5-24. CNII PROMEDIO DE LA CUENCA EN ESTUDIO .....	80
TABLA 5-25. FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA. ....	86
TABLA 6-1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	88
TABLA 6-2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	90
TABLA 6-3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL BRILLO SOLAR (HORAS). ESTACIÓN PAZ DE ARIPORO.....	91
TABLA 6-4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE EVAPORACIÓN (MM). ESTACIÓN PAZ DE ARIPORO .....	92
TABLA 6-5. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA (%). ....	93
TABLA 6-6. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA NUBOSIDAD (OCTAS). ....	94
TABLA 6-7. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE PUNTO DE ROCÍO (°C). ....	95
TABLA 6-8. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA (°C). ....	96
TABLA 6-9. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C). ....	98
TABLA 6-10. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C). ....	99
TABLA 6-11. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TENSIÓN VAPOR (MB). ....	99
TABLA 6-12. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE VELOCIDAD (M/S). ....	100
TABLA 7-1. DATOS DE ENTRADA MODELO HEC-HMS .....	101
TABLA 7-2. RESUMEN RESULTADOS MODELOS HEC-HMS, EN CONDICIONES PROMEDIO CNII. CUENCA QDA. CASIRBA .....	114
TABLA 7-3. RESUMEN RESULTADOS MODELOS HEC-HMS, EN CONDICIONES EXTREMAS CNIII. CUENCA QDA. CASIRBA.....	115
TABLA 8-1. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD N DE MANNING.....	120
TABLA 8-2. RESUMEN RESULTADOS MODELOS HEC-RAS .....	123
TABLA 8-3. RESUMEN RESULTADOS MODELOS HEC-RAS. CON EL POSIBLE CONTROL HIDRÁULICO (RÍO CASANARE) .....	126
TABLA 9-1. DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS EN LA CUENCA DE ESTUDIO. ....	128

TABLA 9-2. CAUDALES BASE PARA LA CUENCA QDA CASIRBA .....	129
TABLA 9-3. RESUMEN RESULTADOS MODELOS HEC-HMS, EN CONDICIONES EXTREMAS CNIII. CUENCA QDA. CASIRBA.....	130

## **RESUMEN**

El presente trabajo se basa en la estimación de las crecientes y niveles máximos de la Quebrada Casirba en el sitio de cruce sobre la vía La Cabuya – Sácama en el departamento del Casanare, enmarcándose dentro de la línea de investigación Saneamiento de comunidades.

Dicho análisis de crecientes y niveles se asocian a los periodos de retorno de 2,33 (que simula condiciones medias) 50 y 100 años, estimados mediante el uso de metodologías directas recomendadas por el “Manual de drenaje de carreteras” (Instituto Nacional de vías, 2009) como el de la SCS Soil Conservation Service (Oficina de Conservación de Suelos de los Estados Unidos) conocido como el Hidrograma Unitario y de modelos de cómputo como los software HEC-HMS (desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos) y ArGIS como sistema de información geográfica SIG.

Este estudio se llevará a cabo con el fin de definir la cota mínima que debe tener la estructura (puente sobre la Quebrada Casirba) en el sitio de cruce sobre la vía y garantizar la seguridad del mismo. Para ello, será necesario realizar los análisis de parámetros hidrológicos en los que se contemplará la estimación de caudales máximos, precipitación, caracterización morfométrica detallada de la cuenca Quebrada Casirba y el análisis climatológico con los parámetros de brillo solar, evaporación, humedad relativa y temperatura a nivel mensual multianual de la zona de estudio.

Palabras clave: Crecientes, Niveles, Hidrológico, Morfometría, Climatológico.

## ABSTRACT

The present work is based on the duration of the growth and the maximum levels of the Quebrada Casirba in the crossing site on the La Cabuya - Sácama road in the department of Casanare, framed within the line of investigation Sanitation of communities.

This analysis of floods and levels are associated to the return periods of 2.33 (simulating average conditions) 50 and 100 years, estimated through the use of direct methodologies recommended by the “Manual de drenaje de carreteras” (Instituto Nacional de vías, 2009) such as the SCS Soil Conservation Service, known as the Unitary Hydrogram and computer models such as the HEC-HMS software (developed by the United States Engineers) and ArGIS as a geographic information system SIG.

This study refers to a rope in order to define the minimum height that the structure must have (bridge over the Quebrada Casirba) at the crossing point on the road and guarantee the safety of it. For this, it will be necessary to carry out the analysis of the hydrological parameters the estimation of maximum flows, precipitation, detailed morphometric characterization of the Quebrada Casirba basin and the climatological analysis with the parameters of solar brightness, evaporation, relative humidity and temperature at the multi-year monthly level of the study area.

Keywords: Increases, Levels, Hydrological, Morphometry, Climatological.

## INTRODUCCIÓN

El presente informe se basa en el estudio de crecientes y cálculo de niveles máximos en la Quebrada Casirba en el cruce sobre la vía La Cabuya-Sácama en el departamento del Casanare, sobre el cual el puente actualmente localizado en el sitio del proyecto se encuentra en riesgo de colapsar dado el deterioro que presenta en sus cimientos y accesos. Además, la vía La Cabuya – Sácama es considerada como una vía principal dado que permite la comunicación entre cabeceras municipales como Sácama, Hato Corozal, Paz de Ariporo, Pore y Yopal.

Para llevar a cabo el estudio será necesario acceder a información secundaria como el Plan de desarrollo: Unidos construyendo el cambio con un gobierno para todos (Casanare A. M., 2016-2019) y el Plan vial departamental de Casanare (públicas, 2010-2019), los cuales recopilan y presentan de manera global las generalidades de la zona de estudio en el departamento de Casanare donde se localiza el puente objeto de este proyecto.

Para esto, se realizará un análisis hidrológico mediante el uso de metodologías directas como la del hidrograma unitario de la SCS, un análisis climatológico de los principales parámetros registrados en las estaciones más cercanas al proyecto, las cuales se encuentran monitoreadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Colombia (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) y el análisis de características morfométricas de la cuenca Quebrada Casirba basados en los estándares del Estudio Nacional del Agua (IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2018, 2019), insumos para usar modelos hidrológicos e hidráulicos como el software HEC-HMS el cual permitirá finalmente establecer los caudales y niveles para diferentes periodos de retorno (2,33 50 y 100 años) de la Quebrada Casirba.

La estructura del informe estará basada en: Generalidades del sitio de estudio, antecedentes, marco de referencia, metodologías, análisis hidroclimatológicos, modelación hidráulica, conclusiones y recomendaciones. Este documento hace parte de los requisitos de la Universidad Católica de Colombia para otorgar el título de Especialista en Recursos Hídricos.

# **1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO**

## **1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

El proyecto de estudio está definido por la línea de investigación de Saneamiento de comunidades, dado que se tiene previsto usar modelos especializados que permitan la estimación de las crecientes y niveles máximos en la Quebrada Casirba, departamento del Casanare.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Antecedentes del problema**

La vía La Cabuya – Sácama es considerada como una vía principal del departamento del Casanare en la cordillera oriental, la cual de acuerdo con el “Manual de diseño geométrico de vías” (Ospina, 2002) está catalogada como de orden secundario al unir cabeceras municipales entre sí. La vía conecta los municipios de Sácama, Hato Corozal, Paz de Ariporo, Pore y Yopal.

De acuerdo con los habitantes de la zona y con los medios de comunicación como la emisora la voz del Cinaruco 105 AM y su portal web (Cinaruco, 2016), el puente localizado sobre la Quebrada Casirba y el cruce de la vía mencionada, se encuentra en riesgo de colapsar dado el deterioro que presenta en sus cimientos y accesos. Este puente es transitado por vehículos pesados como tractomulas con restricción inferior a las 20 toneladas.

Aunque, el Ministerio de Hacienda desde años anteriores ha hecho inversiones para la intervención del puente, como se presenta en el contrato No. 237 de 2014 (Hacienda, 2014) a la actualidad no se ha llevado a cabo ninguna reparación, intervención y/o construcción.

Por lo anterior, este estudio permitirá conocer la cota mínima que debe tener el puente a partir de los análisis hidroclimatológicos donde se estimará el caudal y los niveles máximos de la



corriente con ayuda de curvas de calibración de unas secciones topobatimétricas en el sitio de análisis construidas a partir de la ecuación de Manning para flujo uniforme.

### **1.2.2 Pregunta de investigación**

¿Cuál debe ser la cota mínima de elevación del puente para que la hidráulica de flujo de la Quebrada Casirba no presente alteraciones ante eventos de crecientes para periodos de retorno 2,33 (condiciones medias) 50 y de 100 años?.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Debido a que el puente sobre la Quebrada Casirba en la vía La Cabuya-Sácama actualmente conecta varios municipios entre sí y es catalogada como una vía principal de orden secundario sobre la cual transita vehículos pesados y teniendo en cuenta la problemática planteada donde se describe que dicho puente está en riesgo de colapsar dado el deterioro de sus cimientos y accesos, se considera que este estudio de crecientes y cálculo de niveles máximos en la Quebrada del mismo nombre en el departamento del Casanare es viable y además aportará una valiosa información de manera conceptual sobre la cota mínima que debe tener el puente de acuerdo a los análisis hidrológicos y climatológicos que indicarán el caudal y los niveles de la corriente en el sitio de estudio, para esto se usarán modelos hidrológicos e hidráulicos mediante el software HEC-RAS.

Además, los resultados que se obtendrán de dicho análisis son básicos y pueden llegar a ser usados para que otras especialidades puedan definir a futuro la geometría de la estructura de puente requerido y poder desarrollar un diseño para la proyección a una futura licitación de la construcción del mismo, dado las inversiones que ha realizado el Ministerio de Hacienda años anteriores (Hacienda, 2014) y que en la actualidad (2019) no se ha visto plasmada ninguna intervención.

Finalmente, se espera brindar un beneficio a la comunidad cercana al área de estudio que requiere de la comunicación terrestre entre los municipios de Sácama, Hato Corozal, Paz de Ariporo, Pore y Yopal.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Estimar y analizar las crecientes y los niveles máximos en la Quebrada Casirba sobre la vía La Cabuya – Sácama en el departamento del Casanare, mediante el software HEC-HMS para periodos de retorno de 2,33 50 y 100 años.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los principales parámetros morfométricos de la cuenca en estudio hasta la vía La Cabuya – Sácama.
- Elaborar un análisis hidrológico y climatológico como información base en la cuenca de la Quebrada Casirba, zona de estudio.
- Generar una modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS para determinar los caudales.
- Estimar los niveles máximos de la Quebrada Casirba sobre la vía La Cabuya – Sácama para periodos de retorno de 2,33 50 y 100 años.
- Establecer la cota mínima que debe tener el puente para que la hidráulica de flujo de la Quebrada Casirba no presente alteraciones ante eventos de crecientes.

## **2 MARCOS DE REFERENCIA**

A continuación se presenta descriptivamente algunos aspectos de gran importancia para el desarrollo del estudio de crecientes y cálculo de niveles máximos de la Quebrada Casirba sobre la vía La Cabuya – Sácama en el departamento del Casanare.

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

Para describir los principales conceptos usados en el estudio de crecientes y cálculo de niveles máximos en la Quebrada Casirba, se toma como referencia los conceptos dados en Hidrología Básica (Henry, 1986), Hidrología aplicada (Ven Te Chow D. M., 1994) y Flood Hydrology Manual (Cudworth, 1992)son:

#### **2.1.1 Caracterización Morfométrica**

Para la caracterización morfométrica es necesario tener presente los siguientes conceptos, los cuales son parámetros medibles directamente en la cuenca:

##### ***2.1.1.1 Área de drenaje (área de cuenca)***

Es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica.

##### ***2.1.1.2 Orientación***

Este parámetro se determina de acuerdo a la orientación del río principal de la cuenca en relación al Norte y se considera su influencia especialmente en las zonas de ladera en donde la inclinación de las vertientes afectará la influencia solar.

La orientación de la cuenca con respecto al movimiento del sol y a la interposición de las cadenas montañosas con respecto a las corrientes de aire, es un factor que influye en su comportamiento hidro-meteorológico.

#### **2.1.1.3 Factor de Forma ( $K_f$ )**

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente.

Un valor de  $K_f$  superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

#### **2.1.1.4 Coeficiente de compacidad ( $k_c$ )**

Este coeficiente es propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K_C = 0,282 \frac{P}{A^{0,5}}$$

Dónde:

$K_c$ : coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (longitud de la línea parteaguas)

A: área de la cuenca

Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (ver **Tabla 2-1**), determinados por la FAO (Estudio FAO Riego y Drenaje, 1985):

**Tabla 2-1. Categorías de clasificación del coeficiente de compacidad**

Valores de kc	Forma
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Rectangular oblonga

#### 2.1.1.5 Tiempo de concentración

Es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés. Para la cuenca en estudio, el tiempo de concentración se calculará a partir de las expresiones propuestas en la **Tabla 2-2**.

**Tabla 2-2. Tiempo de concentración. Ecuaciones.**

Fórmula	Ecuación	Parámetros
<i>Kirpich</i>	$T_c = 0,06628 \left( \frac{L_D}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (m/m)
<i>Témez</i>	$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (%)
<i>Williams</i>	$T_c = 0,683 \left( \frac{L A^{0,40}}{D S^{0,25}} \right)$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $D$ = Diámetro de una cuenca circular con área $A$ (km) $A$ = Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )
<i>Bransby – Williams</i>	$T_c = \frac{14,6 L}{A^{0,1} S^{0,2}}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (min) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (m/m) $A$ = Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )

Fórmula	Ecuación	Parámetros
<i>Giandotti</i>	$T_c = \left( \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25,3\sqrt{L S}} \right)$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (m/m) $A$ = Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )
<i>Johnstone y Cross</i>	$T_c = 2,6 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,5}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (m/km)
<i>SCS – Ranser</i>	$T_c = 0,947 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $H$ = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)
<i>Ventura – Heras</i>	$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (%)
<i>Ven Te Chow</i>	$T_c = 0,273 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,64}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (m/m)
<i>Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos</i>	$T_c = 0,28 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	$T_c$ = Tiempo de concentración de la cuenca (h) $L$ = Longitud del cauce principal (km) $S$ = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Por recomendación del Manual de drenaje de carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009), se adoptará un tiempo de concentración mínimo de 15 min para la cuenca si su tiempo de concentración es menor a este valor. Esto, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en las cuencas y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría al realizar los análisis con valores menores a este tiempo de concentración.

## 2.1.2 Parámetros de Drenaje

### 2.1.2.1 Orden de los cauces

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios:

Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden  $i$  se unen, resulta una corriente de orden  $i+1$ . Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

#### **2.1.2.2 Densidad de drenaje ( $D_d$ )**

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$D_d = \frac{\text{Longitud corrientes (km)}}{\text{Área cuenca (km}^2\text{)}}$$

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de densidad de drenaje próximo a  $0.5 \text{ km/km}^2$  o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

#### **2.1.2.3 Longitud del cauce principal**

Es la distancia medida desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio donde se ubicará la obra de drenaje. Para el caso de estudio será la Quebrada Casirba.

#### **2.1.2.4 Índice de sinuosidad**

Es la relación entre la longitud total o de un tramo de cauce principal y la longitud en línea recta de ese mismo cauce o tramo de cauce estudiado. Según Morisawa, el índice de sinuosidad permite clasificar un río o tramo de río en rectilíneo, sinuoso, meandrante, entrelazado o anastomosado, como se presenta en la **Tabla 2-3**:

**Tabla 2-3. Categorías de clasificación del índice de sinuosidad**

<b>Tipo de canal</b>	<b>Índice</b>
Rectilíneo	< 1,05
Sinuoso	1,05 - 1,5
Meandrizante	> 1,5
Entrelazado	> 1,8
Anastomosado	> 2

### **2.1.3 Parámetros de relieve**

#### **2.1.3.1 Elevación**

Es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio.

#### **2.1.3.2 Elevación media**

La elevación media de una cuenca, se calcula como el promedio ponderado de las áreas entre curvas de nivel y el área total, este método se conoce como área-elevación. La ecuación para el cálculo de la elevación media corresponde a la expresión:

$$Em = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times e_i}{A_T}$$

Donde

Ai: Es el área i-ésima entre curvas de nivel

Ei: Es la elevación media entre curvas de nivel

AT: Es el área total de la cuenca



### **2.1.3.3 Pendiente:**

La pendiente media del cauce principal se determinará mediante la metodología de Taylor - Schwartz, que tiene la siguiente formulación:

$$S = \left\{ \sum \frac{Li}{\left( \frac{1}{\sqrt{Si}} \right)} \right\}^2$$

Dónde:

S: Pendiente media del cauce principal (m/m)

L: Longitud del tramo (m) entre las curvas de nivel

Si: Pendiente media del tramo (m/m)

## **2.1.4 Caracterización Hidrológica**

Para la caracterización hidrológica se requiere hacer una descripción breve de los principales afluentes localizados en la zona de estudio y tener presente los siguientes conceptos:

### **2.1.4.1 Sistemas lénticos**

Son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir como ciénagas, lagos, lagunas, humedales o pantanos

### **2.1.4.2 Sistemas lóticos**

Entendiéndose como Sistema lótico todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección. Ejemplo: ríos, caños y quebradas.

### **2.1.4.3 Caudal**

El caudal de un río, es la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal y se expresa en volumen por unidad de tiempo. El caudal en un tiempo dado puede medirse por diferentes métodos y la elección del método depende de las condiciones del sitio de estudio.

### **2.1.5 Variables y parámetros para modelación hidrológica**

Un modelo hidrológico es una herramienta que permite representar la realidad de una manera simplificada y que posee un valor predictivo útil para la utilización de los recursos hídricos; además sirve como orientación en la toma de decisiones para la solución de problemas que se puedan presentar en una zona determinada.

Para el desarrollo del estudio se realizará la modelación hidrológica a través del software HEC-HMS desarrollado por Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Corps of Engineers, el cual ha diseñado los modelos hidráulicos e hidrológicos con mayor reconocimiento y aceptación a nivel internacional. El HEC-HMS (Hydrologic Model Sistem versión 4.0) (Engineers, 2010), fue diseñado para simular la escorrentía superficial de respuesta de una cuenca a la precipitación mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos, cada uno de las cuales refleja un aspecto del proceso precipitación-escorrentía a partir de parámetros físicos e hidrológicos.

La efectividad de la simulación de un proceso de modelación depende fundamentalmente de la calidad de la información de entrada, tanto de la lluvia como de las características físicas de la cuenca o área de influencia. A pesar de las dificultades de conseguir información de calidad, la tendencia en hidrología es al uso de estos modelos, específicamente por la capacidad para simular eventos históricos.

#### **2.1.5.1 Precipitación**

La Lluvia es parte fundamental en el sistema hidrológico y su representación adecuada en los modelos de Precipitación - Escorrentía. La variación temporal y espacial de la lluvia afecta directamente el comportamiento de la escorrentía, pues es el resultado directo una de otra. Los eventos de lluvia son medidos en estaciones localizadas estratégicamente, para luego ser generalizados en el área de influencia mediante métodos ya sean directos en indirectos.

#### ***2.1.5.2 Distribución espacial de la precipitación***

Lo más común en la evaluación espacial de la lluvia, es promediar las medidas de pluviómetros a lo ancho y largo de la cuenca, ya sea por falta de tecnologías especiales para la medición directa e instantánea de eventos, por falta de recursos para el desarrollo e implementación de nuevas técnicas de medición o por desconocimiento de métodos estadísticos apropiados. Tres métodos de evaluación espacial de la lluvia se han usado con frecuencia: Promedio Aritmético de magnitudes de lluvia puntuales, Polígono de Thiessen y el Método de Isoyetas. Para el desarrollo del estudio, se llevará a cabo el Método de Isoyetas.

#### ***2.1.5.3 Distribución temporal de la precipitación***

Los eventos de lluvia que van a ser simulados deben ser distribuidos tanto espacialmente como en forma temporal. La distribución temporal es expresada generalmente en forma gráfica o analítica mediante hietogramas. Para conseguir esta distribución se deben analizar los pluviogramas de los eventos extremos presentados identificando en el tiempo los incrementos de lluvia. Se debe agrupar los eventos de acuerdo a la duración, pues las lluvias se distribuyen en forma diferente según sea su duración.

#### ***2.1.5.4 Número de Curva (CN)***

Siguiendo el proceso descrito en el Manual de drenaje de carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009), necesario para la caracterización de las cuencas del sistema hidrológico en estudio, se hace un reconocimiento sobre el grupo de suelo hidrológico, el uso y el tratamiento de la tierra, la condición hidrológica superficial y las condiciones de humedad antecedente.

El grupo hidrológico de suelos describe el tipo de suelo. El uso y el tratamiento del suelo describen el tipo y la condición de la cubierta vegetal. La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la hoya hidrográfica para aumentar o impedir la escorrentía directa. La condición de humedad antecedente tiene en cuenta la historia reciente de la precipitación y, consecuentemente, es una medida de la cantidad almacenada por la hoya.

### ***Clasificación hidrológica de los suelos***

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en el planteamiento de cuencas para la estimación de la escorrentía superficial a partir de la precipitación. Las propiedades de los suelos “desnudos”, luego de un humedecimiento prolongado, que son consideradas para estimar la tasa mínima de tracción, son: profundidad del nivel freático en época de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo luego de un humedecimiento prolongado, y la profundidad hasta el estrato de permeabilidad muy baja. La influencia de la cobertura vegetal es tratada independientemente. Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C, y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento.

**Grupo A.** (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración incluso cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.

**Grupo B.** (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

**Grupo C.** (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcalis o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).

**Grupo D.** (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy

lenta debido a sales o álcalis y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

### ***Uso y tratamiento del suelos***

El uso del suelo pertenece a la cobertura de la hoya, incluyendo todo tipo de vegetación, humus vegetal, tierras en descanso (suelo limpio), así como usos no agrícolas, como superficies de agua (lagos, ciénagas u otras), superficies impermeables (camino, techos, etc.) y áreas urbanas. El método del número de curva de escurrimiento distingue entre suelos cultivados, prado y bosques.

### ***Condición de humedad antecedente***

El método del número de curva de escurrimiento tiene tres niveles de humedad antecedente, dependiendo de la precipitación total en los cinco días previos a la tormenta que se analiza. La condición de humedad antecedente seca (AMC I) tienen el menor potencial de escurrimiento, con los suelos estando lo suficientemente secos para un arado satisfactorio o para que una siembra se lleve a cabo. La condición de humedad antecedente promedio (AMC II) tiene un potencial de escurrimiento promedio. La condición de humedad antecedente húmeda (AMC III) tiene el mayor potencial de escurrimiento, con la hoya hidrográfica prácticamente saturada de precipitaciones anteriores. La condición de humedad antecedente puede ser determinada a partir de la información presentada en la **Tabla 2-4**.

**Tabla 2-4. Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente**

<b>Condición de humedad Antecedente (AMC)</b>	<b>Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (mm)</b>
I	0 – 36
II	36,1 – 52,5
III	Más de 52,5

Para determinar el número de curva de escorrentía CN teniendo en cuenta los criterios anteriormente descritos, dirigirse al Manual de drenajes de carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009, págs. 2-85) en las Tabla 2.14, Tabla 2.15, Tabla 2.16 y Tabla 2.17.

Se debe tener en cuenta que de acuerdo con el método del SCS, se deben ajustar las características de la cuenca a los requerimientos, condiciones y clasificación básica del método, usando como referencia las definiciones y conceptos del documento "Computer Assisted Floodplain Hydrologic & Hydraulics" (Hoggan, 1990).

## 2.2 MARCO GEOGRÁFICO

La Quebrada Casirba se encuentra entre los municipios de Sácama y Hato Corozal, como se muestra en la **Figura 2-1** dos de los 19 municipios en los que se divide el departamento del Casanare. Sobre este cuerpo de agua se localiza una estructura puente, el cual permite la comunicación terrestre entre los municipios de Sácama, Hato Corozal, Paz de Ariporo, Pore y Yopal en el departamento.

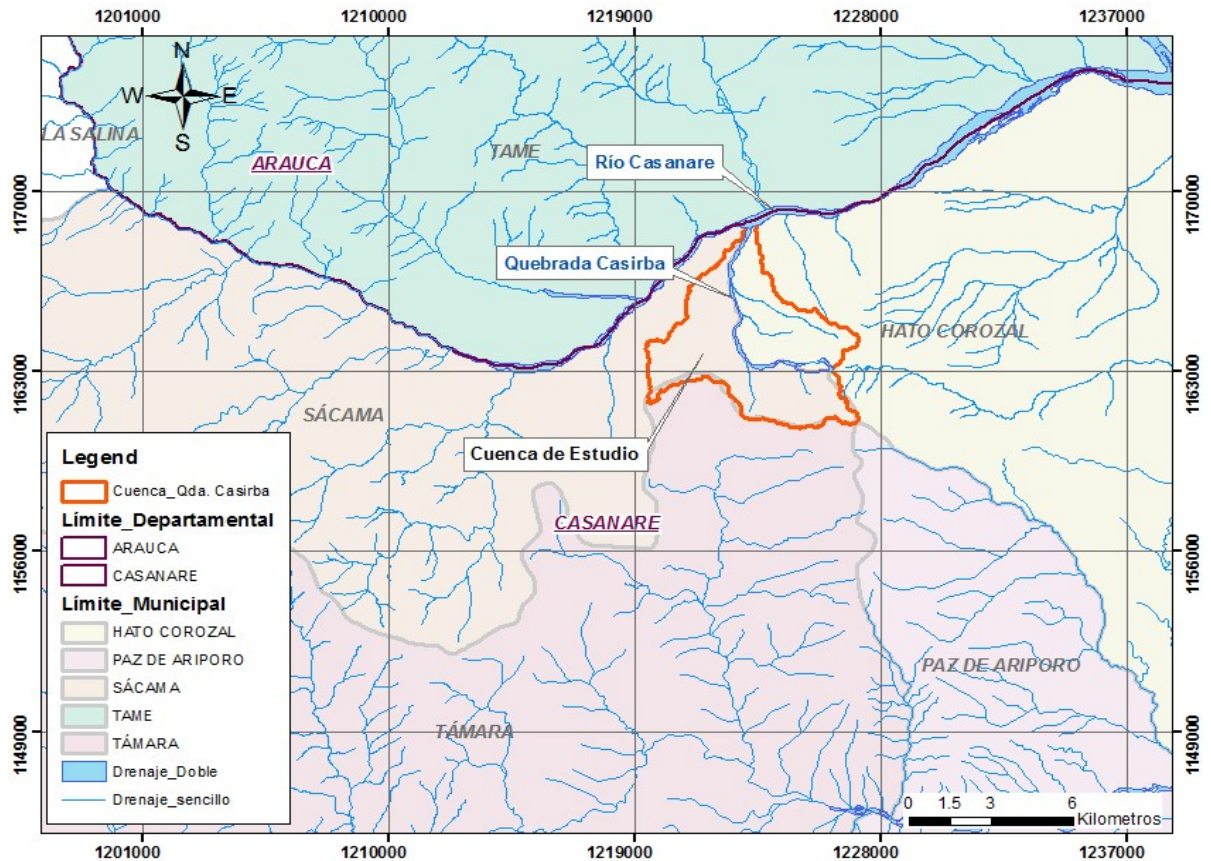


**Figura 2-1. Localización del Municipio de Sácama y Hato Corozal en el departamento del Casanare**

**Fuente:** (Tierra Colombiana, Municipios de Casanare , 2016)

El municipio de Sácama tiene un área total de 312,75 km<sup>2</sup> y se encuentra ubicado al Noroccidente del departamento de Casanare en la Cordillera Oriental. Su cabecera se localiza a los 60° 6' 07" Latitud Norte y 720° 15' 12" Longitud Oeste a una altura de 1250 msnm y una temperatura media de 19 °C. Mientras que El municipio de Hato Corozal tiene una extensión territorial de 5436 Km<sup>2</sup>, y se encuentra ubicado al Norte del departamento de Casanare, en los 6° 10' Longitud Norte y a los 71° 46' Latitud Oeste.

Por otro lado, la cuenca de la Quebrada Casirba (cuenca en estudio), como se presenta en la **Figura 2-2** se localiza noroccidente del departamento de Casanare entre los municipios de Sácama y Hato Corrozal y cuenta con un área de 31,87 km<sup>2</sup>. La Quebrada Casirba tiene una longitud aproximada de 9,62 km hasta desembocar en la margen derecha del Rio Casanare. La altura máxima de su límite hidrográfico es de 1500 msnm y su cota mínima de 600 msnm.



**Figura 2-2. Localización de la cuenca en estudio. Quebrada Casirba**

Como se ha mencionado, los habitantes cercanos al área de estudio y los medios de comunicación como la emisora la voz del Cinaruco 105 AM en su portal web (Cinaruco, 2016), junto la voz de Yopal 750 AM en su portal web (Yopal, 2016) y Prensa libre Casanare, han manifestado que el puente localizado sobre la Quebrada Casirba y el cruce de la vía mencionada, se encuentra en riesgo de colapsar por el deterioro que presenta sus cimientos y accesos, siendo esta una vía principal de tránsito pesado.

En la **Figura 2-3**, se presentan imágenes de la zona de estudio, donde se evidencia las crecientes que ha tenido la Quebrada Casirba la cual ha llegado hasta la cota inferior de puente. Además del evidente deterioro del mismo. Se resalta que estas fueron tomadas hacia mayo de 2017 por los habitantes de la zona.





**Figura 2-3. Estado de la estructura sobre la Quebrada Casirba**

## **2.3 MARCO DEMOGRÁFICO**

El presente estudio se realizará sobre la Quebrada Casirba, sobre la cual se encuentra un puente que permite la comunicación terrestre entre los municipios de Sácama, Hato Corozal, Paz de Ariporo, Pore y Yopal en el departamento de Casanare.

Para el desarrollo de este marco, es necesario describir la demografía de los municipios anteriormente mencionados.

### **2.3.1 Sácama**

De acuerdo con los registros del DANE reportados en el Plan de Desarrollo del municipio de Sácama (Casanare A. M., 2016-2019), este municipio alberga el 0,6% de la población del departamento de Casanare, cuenta con una población aproximada de 2001 habitantes, de los

cuales el 29% equivalente a 587 personas se encuentran en el área rural y el 71% equivalente a 1414 se encuentran en el área urbana.

Por otra parte, aproximadamente el 59% equivalente a 1178 habitantes de la población se encuentra en los rangos de edades de los 15 a 59 años de edad, mientras que la población inactiva comprendida entre los rangos menores de 15 años y mayores de 59 años, representan el 41% equivalente a 823 personas. Este municipio cuenta con población indígena, dentro de la cual se encuentra la comunidad de Campo Hermoso con 121 habitantes (es la de mayor población), seguido por las comunidades Chaparral, Corocito, Guaraque y finalmente con la comunidad de Casirva, para un total de 408 habitantes.

En cuanto al sistema de salud, en el municipio la IPS está capacitada para hacer atención de primer nivel con servicios médicos, odontológicos y de laboratorios básicos, hospitalización y pequeñas intervenciones quirúrgicas. Carece de médico especializado, por lo cual muchos pacientes deben ser remitidos a Yopal.

En cuanto a la economía, el municipio se caracteriza por depender netamente de actividades pertenecientes al sector primario como la agricultura y la ganadería, las cuales en general poseen bajos niveles de tecnificación. La principal fuente generadora de empleo es la administración municipal, seguida de la explotación pecuaria, agrícola y ganadera, otro de los sectores que genera empleo es la industria lechera, restaurantes y hoteles. Turísticamente, Sácama es altamente rico en aguas cristalinas debido a las grandes extensiones de reservas hídricas, cascadas naturales, biodiversidad, flora, fauna, clima y expresiones culturales.

Buena parte del empleo se genera a través de la contratación que realiza el municipio, para la prestación de los servicios establecidos por la ley así como en las obras de infraestructura realizadas tanto en la cabecera municipal como en la zona rural y los trabajadores de mantenimiento de carreteras financiados por el INVIAS. El porcentaje de la población

beneficiada por la generación de empleo por parte de la contratación se encuentra entre el 20% y el 30% del total de habitantes del municipio, dependiendo de la actividad.

### **2.3.2 Hato Corozal**

De acuerdo con el Plan de Desarrollo del Municipio de Hato Corozal (Casanare A. M., 2012-2015) y los registros del DANE, Este municipio tiene una población a 2012 de 11.541, de los cuales 6.103 son hombres y 5.408 mujeres equivalente al 53% y 47% de la población respectivamente. La distribución de población por áreas urbana y rural del municipio de Hato Corozal es para el año 2012 de 41.54% y 58.46% respectivamente, sin embargo se puede observar que entre los años 2012 y 2015 hay una tendencia de aumento de la población urbana, al pasar del 41.54% al 43.47% lo cual equivale a un aumento absoluto de 492 habitantes durante el periodo de análisis, que al compararlo con la población rural se presenta una disminución en similares proporciones al pasar 58.46% y 53.43% en el mismo periodo, pese a lo anterior la mayor concentración poblacional sigue siendo predominantemente rural.

En cuanto al sistema de salud, la población afiliada se encuentra distribuida en tres entidades Promotoras de Salud del Régimen Subsidiado (EPS-S): CAPRESOCA presenta el mayor porcentaje de población afiliada, con un 94,1%, correspondiente a 8.205 usuarios, seguida por la EPS-S CAPRECOM, con un 3,8% correspondiente a 332 usuarios y por último la EPS-S ECOOPSOS con un 2,1% equivalente a 186 afiliados al Régimen Subsidiado. En estas entidades se han presentado fallas relacionadas con el manejo de información, demoras, carencia de personal, precarias condiciones locativas y de dotación.

El municipio de Hato Corozal cuenta con una amplia oferta ambiental representada en la abundancia del recurso hídrico, la flora y la fauna gracias a su localización en la zona de transición de la Selva Amazónica y La Cordillera Oriental, cuenta con características físico-bióticas especiales que le permiten el desarrollo de potenciales forestales, pecuarios y energéticas en su territorio. Predominan principalmente dos modos de producción agrícola, la producción agrícola de subsistencia y la mecanizada, la primera se desarrolla en la mayoría de fincas de la

zona de sabana, utiliza mano de obra no calificada, ausencia total de fertilizantes y asistencia técnica. En cuanto a la producción en forma comercial esta se desarrolla en la franja de piedemonte pero en términos generales esta está poco desarrollada y se encuentra representada por productos como arroz, plátano, maíz, yuca y cacao este último desarrollado a través de asociaciones de productores con el apoyo del estado pero que realmente no representa unas altas producciones.

### **2.3.3 Paz de Ariporo**

De acuerdo al Plan de Desarrollo del Municipio de Paz de Ariporo (Casanare A. M., 2016-2019), el municipio cuenta con 29995 habitantes reportados en la base de datos del SISBEN a corte 31 de diciembre de 2011, de los cuales el 15.584 son hombres y 14.411 son mujeres con una distribución porcentual del 50,29 % y el 49,71% respectivamente. El 11% de la población son infantes en edades de 0 a 5 años, 16% está representado por niñas y niños en edades de 6 a 12 años, mientras que el 14% de la población total son adolescentes de 13 a 18 años, siendo así un 30% de la población total de 6 a 18 años, 15% población 19-26 representan los jóvenes, 19% y 17% constituyen poblaciones en 27 a 40 años y de 41 a 59 años respectivamente y se identifican como la fuerza laboral del municipio, mientras un 8% obedecen a los adultos mayores del municipio.

Dentro de la jurisdicción del municipio, se encuentra un resguardo indígena, el cual se constituyó como Reserva en 1974 y después como Resguardo en 1986, este tiene una extensión de 94.000 hectáreas aproximadamente y un total de 860 indígenas según censo reportado por la población indígena para el año 2009 a la oficina de Asuntos Indígenas, adscrita a la Secretaría de Gobierno.

En cuanto al sistema de salud, El municipio cuenta con una oferta de servicios de salud de primer nivel de atención, con la red pública la ESE Departamental Red Salud Casanare en el casco urbano y un puesto de salud en el resguardo indígena de Caño Mochuelo (San José del Ariporo). De igual manera se cuenta con una Red privada que funciona simultáneamente para

aumento de la oferta de servicios, con 18 prestadores de servicios de salud; generándose una dinámica de prestación de servicios con oportunidad en el casco urbano, presentándose dificultades en su cobertura en zonas rurales apartadas del municipio y en el resguardo indígena.

Por otra parte, las actividades económicas del municipio corresponden a agricultura y ganadería con restricciones de uso en el suelo correspondientes a agroforestales, agropecuarios, ganaderos, agrícolas y mineros plasmados en el ACUERDO No. 500.02-004 de 2016.

#### **2.3.4 Pore**

De acuerdo al Plan de Desarrollo del Municipio de Pore (Casanare A. M., 2016-2019) y los registros del DANE censo 2005 para el año 2015, el municipio cuenta con 7921 habitantes de los cuales 4103 son hombres (51,08%) y 3818 mujeres (48,2%). La zona urbana a diferencia de la rural, ha presentado cambios de crecimiento progresivo del 2011 a 2015 con un aumento de 74 habitantes.

En cuanto al sector de salud, el municipio cuenta con un centro de salud que atiende los servicios de primer nivel (consulta médica general, laboratorio, odontología y urgencias). En cuanto a su infraestructura, el Hospital de Pore, requiere mantenimiento y dotación especialmente en la parte eléctrica.

Por otra parte, la condición económica está definida por las actividades agropecuarias principalmente, sin embargo durante los últimos años se ha posicionado el sector petrolero como el valor agregado de mayor importancia de los diferentes renglones de la economía municipal. Los establecimientos comerciales, también son una fuente de empleo de los habitantes como venta de lubricantes y combustibles, cafeterías, talleres de lavado, restaurantes, droguerías y estaciones de servicio. En cuanto al sector industrial, este se encuentra poco desarrollado, solo cuenta con 3 fábricas dedicadas a la producción y comercialización de quesos 1 empresa empacadora de café, 2 fábricas de prefabricados y 1 taller artesanal y 1 taller de ornamentación.

Sin embargo, el municipio cuenta con una localización favorable para la comercialización de productos, dado que se encuentra sobre la vía marginal de la selva.

Al ser declarado el municipio como patrimonio histórico y cultural de la nación en el año 2004, el turismo también es una fuente de actividad económica importante con altas expectativas de oportunidad de negocio, generación de empleo y fuente de ingresos.

### **2.3.5 Yopal**

De acuerdo al Plan de Desarrollo del Municipio de Yopal (Casanare A. M.), el municipio ha experimentado un extraordinario crecimiento con ritmos elevados, aunque irregulares. De los 213 habitantes de Yopal en 1951, su población ha ascendido a 86.860 en el 2003, lo que significa que se ha multiplicado 29 veces en el periodo. El mayor auge se ha observado en los últimos 32 años, cuando su población se ha incrementado en más de 8 veces. Solo en los últimos 10 años, casi se duplica el número de sus habitantes, pasando de 44.761 en 1993 a 86.860 en el 2003. No sobra advertir que el municipio registra en la actualidad tasas de crecimiento casi cinco veces superiores a las del promedio nacional. Ahora está en 142.982 habitantes según proyección estimada para el 2016.

Aunque en Yopal primeramente no se localizaron enclaves de explotación petrolera, sus características de ciudad capital, su oferta de vivienda y educación han determinado que se vea afectada demográficamente. La atracción del petróleo no se enfoca solamente en mano de obra para dicha actividad. A su vez causa migración de otro tipo de personas con actividades complementarias que no están dispuestos a emigrar, como un miembro de la cadena productiva petrolera, apenas se reduzca la oferta de trabajo en las Compañías. Aunque la movilidad poblacional, es un factor tradicional que subsiste hoy en Yopal, no es tan diversa y grande como a mediados de los 90.

Aun así, Yopal mantiene unas características de ciudad oferente de trabajo, vivienda y un alto nivel de asistencialismo en los servicios básicos a la población vulnerable, lo cual hace que

absorba una gran cantidad de población con características de formación e ingreso por debajo de la media nacional, incluso de la media Regional. Además esta atracción también se ejerce sobre los mismos habitantes del sector rural del municipio y del departamento que han engrosado los cinturones de población demandante, al no contar con infraestructura básica adecuada cerca de sus comunidades de origen. Esto nos da a entender que subsiste la inequidad en la inversión social entre la ciudad y el campo.

En cuanto a la salud, las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas a este sector se estructuran desde la situación de morbilidad y mortalidad como las principales variables que determinan los principales factores que influyen en la consolidación de una mejor calidad de vida en el municipio tanto a nivel rural como urbano. Paralelamente la situación geográfica del Municipio, su clima y la vegetación hace que se presenten continuos casos de paludismo, dengue, leishmaniasis, etc; El agua que consumen no tiene las condiciones pertinente para ser consumible, las condiciones higiénicas de las viviendas son deficientes y en general las condiciones de su hábitat inciden negativamente en las condiciones de calidad de vida de la población de municipio.

Su actividad económica gira en torno a la agricultura y la ganadería. La ganadería vacuna es la principal actividad económica de la población. La cría, levante y ceba se realiza en forma extensiva en toda la llanura, especialmente en Paz de Ariporo, Hato Corozal y Trinidad. En cuanto a la agricultura los principales cultivos son arroz riego, arroz seco mecanizado, palma africana, plátano, maíz tradicional, café y yuca. Y aunque en Yopal no se producen regalías provenientes de la explotación petrolera en su territorio, percibe importantes recursos provenientes de los impuestos de las empresas de esta industria que operan en el departamento, cuya sede principal se encuentra ubicada en Yopal.

En el **ANEXO 1** Marco Demográfico, se encuentra los planes de desarrollo descritos para cada municipio.

### **3 METODOLOGÍA**

La metodología a emplear para el desarrollo del estudio de crecientes y cálculo de niveles máximos en la Quebrada Casirba en el sitio de cruce sobre el cruce de la vía La Cabuya-Sácama en el departamento de Casanare se describe a continuación:

#### **3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

Esta tesis está dirigida dentro de un enfoque cuantitativo y descriptivo, debido a que se va a centrar en la obtención de resultados a partir de análisis y modelaciones en la cuenca de estudio sobre la Quebrada Casirba. Estos datos son susceptibles a estudios estadísticos los cuales permitirán entregar resultados óptimos y reales de los caudales máximos y niveles del cuerpo de agua analizado y servir a futuros estudios y disciplinas para conocer el estado de la estructura que allí se encuentra.

#### **3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

La obtención de datos y posterior análisis se harán gracias a la información recolectada por medio de:

- Datos reportados por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) de parámetros climatológicos (precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar, evaporación) e hidrológicos (niveles del río Casanare)
- Análisis Hidroclimatológicos de la cuenca Quebrada Casirba.
- Modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS.
- Modelación hidráulica mediante el software HEC-RAS



### **3.3 FASES DEL TRABAJO**

#### **3.3.1 Consulta, revisión, evaluación y adquisición de información existente**

Primero, se identificarán las estaciones hidroclimatológicas operadas por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) que midan los parámetros climáticos y de caudales de la Quebrada Casirba o estaciones que se encuentren cerca de la zona de análisis y que permitan caracterizar la cuenca hidrográfica.

Una vez identificadas las estaciones se procederá a consultar y/o parámetros hidroclimatológicos históricos tales como: precipitación, brillo solar, humedad relativa, evaporación, temperatura media y caudales máximos instantáneos, todos a nivel mensual y anual multianual.

De las estaciones consultadas se descartarán aquellas cuya longitud de registros sea muy corta o cuyos valores obtenidos se consideren poco confiables, para lo cual se analizarán gráfica y visualmente los registros entre cada una de las estaciones. Además, se describirá si la zona en estudio pudo llegar a ser influenciada por los fenómenos naturales El Niño y La Niña Based on Oceanic Niño Index ((ONI), 2019).

#### **3.3.2 Consulta de estudios previos y/o información base requerida**

En relación con la información requerida de la cuenca se consultará la información secundaria de cobertura y uso del suelo. Además, se procederá a obtener una sección transversal de la Quebrada Casirba sobre el cruce de la vía La Cabuya-Sácama, siendo esta la información base para desarrollar la estimación de los niveles máximos de agua asociados a diferentes períodos de retorno de la Quebrada en estudio.

### **3.3.3 Caracterización morfométrica de la cuenca de estudio**

Se llevará a cabo la caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada Casirba hasta el sitio de cruce sobre la vía La Cabuya-Sácama. En esta caracterización se incluye la estimación de los siguientes parámetros:

#### **3.3.3.1 *Parámetros morfométricos***

- Área de drenaje (área de cuenca)
- Orientación
- Factor de Forma ( $K_f$ )
- Coeficiente de compacidad ( $k_c$ )
- Tiempo de concentración

#### **3.3.3.2 *Parámetros de drenaje***

- Orden de los cauces
- Densidad de drenaje ( $D_d$ )
- Longitud del cauce principal
- Índice de sinuosidad

#### **3.3.3.3 *Parámetros de Relieve***

- Elevación
- Elevación media
- Pendiente

### **3.3.4 Caracterización Hidrológica**

- Sistemas lénticos
- Sistemas lóticos
- Variables y parámetros para modelación hidrológica

### **3.3.5 Caracterización Climatológica**

En relación con la caracterización climatológica de la cuenca, se analizarán los parámetros de brillo solar, humedad relativa, evaporación, temperatura media y caudales máximos instantáneos para períodos mensuales y anuales multianuales. Este análisis se resume en los siguientes pasos:

- Determinación de los períodos de registro homogéneos para cada parámetro hidroclimatológico.
- Complementación de los datos faltantes a nivel mensual de cada parámetro siguiendo la metodología aceptada por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).
- Construcción de los histogramas y/o distribuciones de cada parámetro a nivel mensual multianual y para el período de registro común definido y de acuerdo a su influencia espacial en la cuenca. Esta influencia se definirá mediante el trazado de polígonos de Thiessen con la herramienta ArcGis.

## **3.4 MODELACIÓN HIDROLÓGICA**

Debido a que en la corriente de la Quebrada Casirba no existe una estación medidora de caudales, se llevará a cabo un análisis a partir del Método del Hidrograma Unitario de la Oficina de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (Ven Te Chow D. M., 1994) empleando el paquete de cómputo HEC-HMS o Sistema de Modelación Hidrológica desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos junto con la herramienta de información geográfica ArcGis.

El modelo hidrológico a desarrollar además de requerir el área de drenaje o de cuenca, requiere también las tormentas de diseño asociadas a diferentes períodos de retorno, que se calcularán con base a las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia o IDF representativas de la cuenca en estudio dependiendo de las estaciones existentes y de los registros de lluvia

máxima en 24 horas utilizando las curvas regionalizadas de Intensidad – Duración – Frecuencia regionalizadas para Colombia (Rodrigo Vargas, 1998).

### **3.5 MODELACIÓN HIDRÁULICA**

La estimación de los niveles máximos de la Quebrada Casirba se llevará a cabo mediante el uso de la herramienta computacional HEC-RAS, dado que no se cuenta con información topográfica y batimétrica a lo largo de la corriente en el sitio de interés para desarrollar un modelo hidráulico más preciso y solo se cuenta con dos secciones topobatimétrica en el sitio aguas arriba y sobre el sitio de cruce de la vía La Cabuya-Sácama. Por lo cual, a manera de ejercicio teórico se llevará a cabo la estimación de los niveles máximos asociados a períodos de retorno entre 2,33 50 y 100 años estimando previamente una curva de calibración de la sección, obtenida a través de la ecuación para flujo permanente de Manning, la cual relaciona el caudal, el área mojada de la sección, su radio hidráulico, así como el coeficiente de rugosidad del lecho, el cual se ha calculará por tablas, dado que tampoco fue posible su obtención directa de campo para mayor precisión.

Por esto y para efectos de la estimación de los niveles máximos, como se ha mencionado, se generarán los respectivos anexos en donde se presenten las secciones topobatimétrica encontradas del sitio en estudio.

### **3.6 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS**

Finalmente, los análisis y resultados obtenidos en la metodología descrita, quedarán resumidos y especificados en el presente trabajo de grado, donde además se incluyen las tablas y figuras de la cuenca en estudio.

## **4 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA**

La caracterización morfométrica se realiza teniendo en cuenta lo descrito en el ítem **2.1 Marco TEÓRICO**, considerado para la cuenca de la Quebrada Casirba y que se presenta a continuación:

### **4.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS**

La teoría de estos parámetros se encuentra en el ítem 2.1.1 Caracterización Morfométrica y los resultados se presentan a continuación.

Los cálculos desarrollados a continuación, se presentan en el **ANEXO 2** Caracterización Morfométrica.

#### **4.1.1 Orientación, Área de drenaje, Factor forma, Coeficiente de compacidad:**

La teoría de estos parámetros se encuentra en el ítem 2.1.2 Parámetros de Drenaje y los resultados se presentan a continuación.

La cuenca de la Quebrada Casirba, como se presenta en la **Figura 4-1** se localiza al oriente de Colombia y al noroccidente del departamento de Casanare entre los municipios de Sácama y Hato Corozal. La Quebrada Casirba, discurre a lo largo de su trayectoria en sentido sureste-noreste desde su nacimiento hasta su desembocadura en la margen derecha del Río Casanare.

En cuanto a los parámetros de área de drenaje, perímetro, factor de forma y coeficiente de compacidad se muestran en la **Tabla 4-1**.

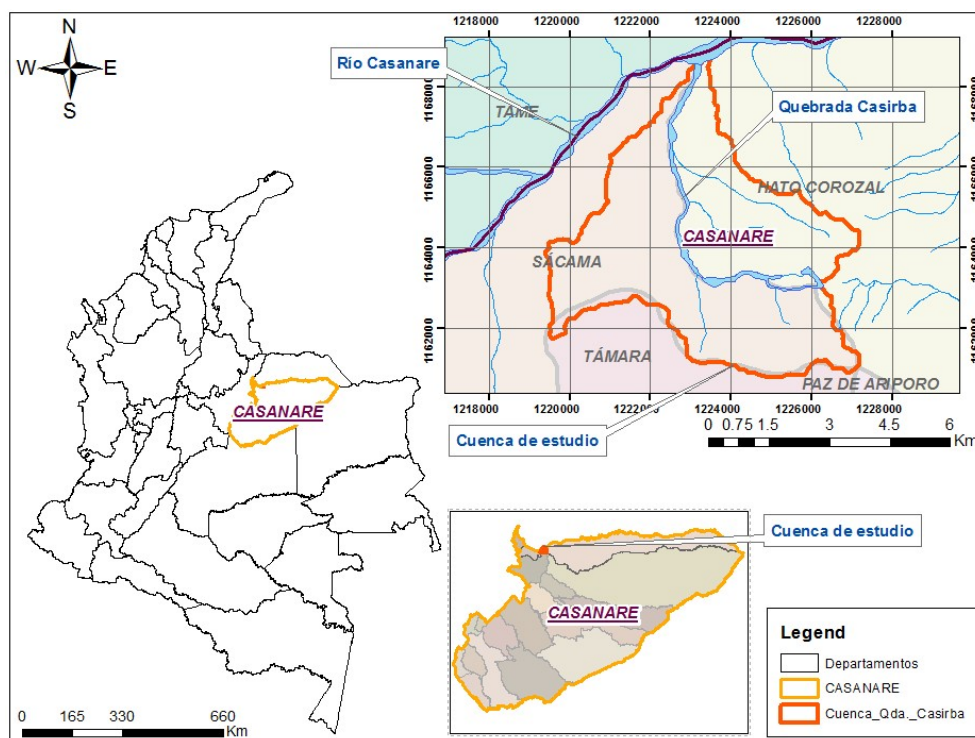
**Tabla 4-1. Caracterización parámetros morfométricos**

No.	Cuenca	Área km <sup>2</sup>	P km	Coef. compacidad	Coef. Forma Oval redonda a oval oblonga
1	Qda. Casirba	31,866665	31,35	1,57	Oval redonda a oval oblonga

Teniendo en cuenta que el coeficiente de compacidad para la cuenca de la Quebrada Casirba es de 1,57 y de acuerdo a las categorías (ver **Tabla 4-2**), determinados por la FAO (Estudio FAO Riego y Drenaje, 1985), la clasifica como una cuenca de forma De oval oblonga a rectangular oblonga.

**Tabla 4-2. Categorías de clasificación del coeficiente de compacidad**

Valores de kc	Forma
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Rectangular oblonga



**Figura 4-1. Localización de la cuenca en estudio. Quebrada Casirba**

#### 4.1.2 Tiempo de Concentración

Entendiéndose que es el tiempo que el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés y de acuerdo con los métodos presentados en el ítem 2.1.1.5 Tiempo de concentración. Para la cuenca en estudio (ver **Tabla 4-3**) el tiempo de concentración promedio adoptado es de 171 minutos.

**Tabla 4-3. Tiempo de concentración cuenca Quebrada Casirba**

Qda. Casirba	
Área (km <sup>2</sup> )	31,87
Longitud del cauce (m)	9616
Longitud del cauce (km)	9,62
H2 (msnm)	1300
H1 (msnm)	600
diferencia de cotas	700
Pendiente Cauce m/m	0,038
Diámetro cuenca (km)	6,37
Kirpich (min)	79,6
Témez (min)	77,8
Williams	176,4
Bransby – Williams	190,5
Giandotti (min)	144,2
Johnstone y Cross	194,2
SCS – Ranser	62,3
Ventura – Heras	76,3
Ven Te Chow	197,7
Cuerpo de Ingenieros	174,2
Promedio	137,3
Desv est	56,6
Prom + desv	194,0
Prom - desv	80,7
Prom (min)	171

#### 4.1.3 Orden de los cauces

Para este estudio se optó por el método de Horton, el cual considera corrientes de primer orden (Orden 1), aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes, como es el caso de la Quebrada Casirba (ver **Figura 4-1**).

#### 4.1.4 Densidad de drenaje (Dd), Índice de Sinuosidad

En cuanto a los parámetros de densidad de drenaje e índice de sinuosidad para la zona en estudio se muestran a continuación en la **Tabla 4-5**.

**Tabla 4-4. Caracterización parámetros morfométricos, Dd e índice de sinuosidad**

No.	Cuenca	Área km <sup>2</sup>	Densidad de drenaje km/km <sup>2</sup>	Índice sinuosidad
1	Qda. Casirba	31,9	0,3	1,5

El cual, teniendo en cuenta la metodología desarrollada por Morisawa (ver **Tabla 4-5**), la Quebrada Casirba es de tipo Meándrico y moderadamente drenada.

**Tabla 4-5. Categorías de clasificación del índice de sinuosidad**

Tipo de canal	Índice
Rectilíneo	< 1,05
Sinuoso	1,05 - 1,5
Meandrizante	> 1,5
Entrelazado	> 1,8
Anastomosado	> 2

De acuerdo al documento Morfología de Ríos (Maza), un cauce de tipo meándrico puede presentar erosión en las márgenes exteriores de las curvas, principalmente en los tramos de aguas abajo.

#### 4.1.5 Longitud y pendiente del cauce principal

Como se observa en la **Figura 4-1**, la Quebrada Casirba, tiene una longitud de 9,6 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en la margen derecha del Río Casanare y una pendiente de 0,038 m/m, lo cual de acuerdo a la clasificación de pendientes para cauces (Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas, 2016) (ver **Tabla 4-6**) se clasifica como una pendiente del cauce Suave.



**Tabla 4-6. Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal**

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

## **4.2 PARÁMETROS DE RELIEVE**

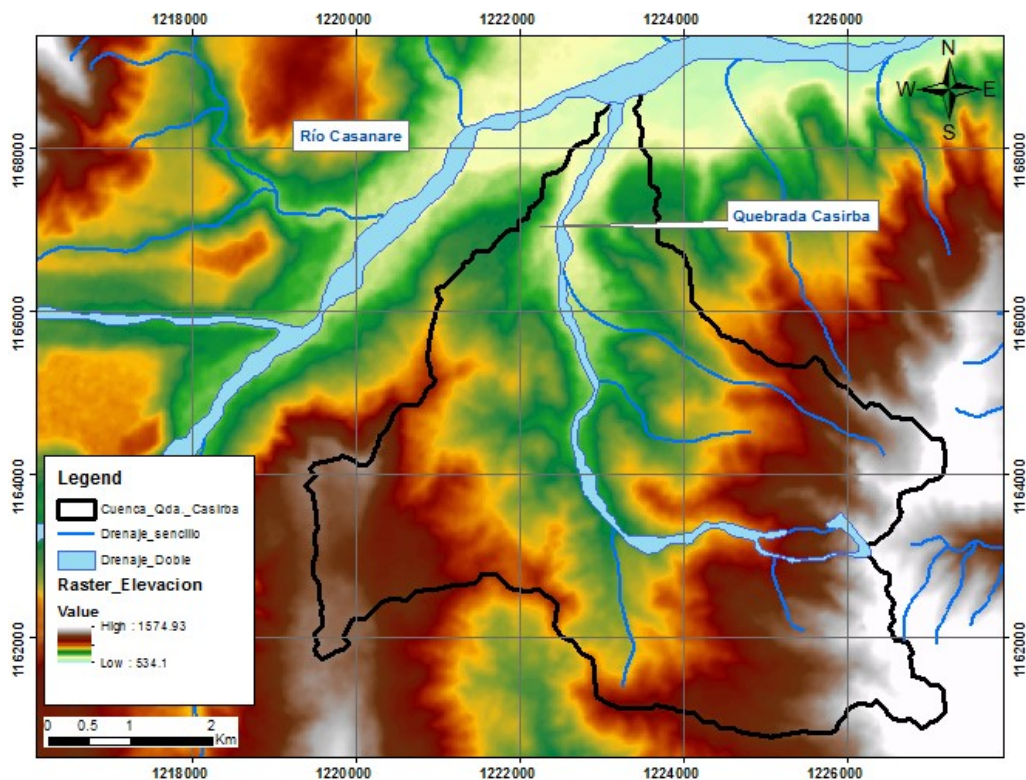
La teoría de estos parámetros se encuentra en el ítem 2.1.3 Parámetros de relieve y los resultados se presentan a continuación.

Para la caracterización de estos parámetros fue necesario recurrir a información satelital ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite), el cual fue desarrollado para ayudar en las áreas de mapeo, precisión cartográfica y monitoreo ambiental. ALOS cuenta con tres tipos de sensores: el radiómetro PRISM (Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping) capaz de obtener imágenes tridimensionales de la superficie terrestre, el radiómetro multiespectral AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-2) y el sensor de microondas PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), capaz de tomar imágenes durante el día y la noche sin la interferencia de la nubosidad. La resolución espacial de la Imagen es de 12,5 m x 12,5 m, con una capacidad de recolección de 50 km x 70 km. (Ingeniería Topográfica y Fotogramétrica, 2019).

Teniendo en cuenta esta imagen satelital, se obtuvo la topografía de la zona de estudio y con ellas procesar mediante archivos raster a través del software ArcGis los mapas de elevación y de pendientes media que se presentan a continuación.

### **4.2.1 Elevación media de la cuenca**

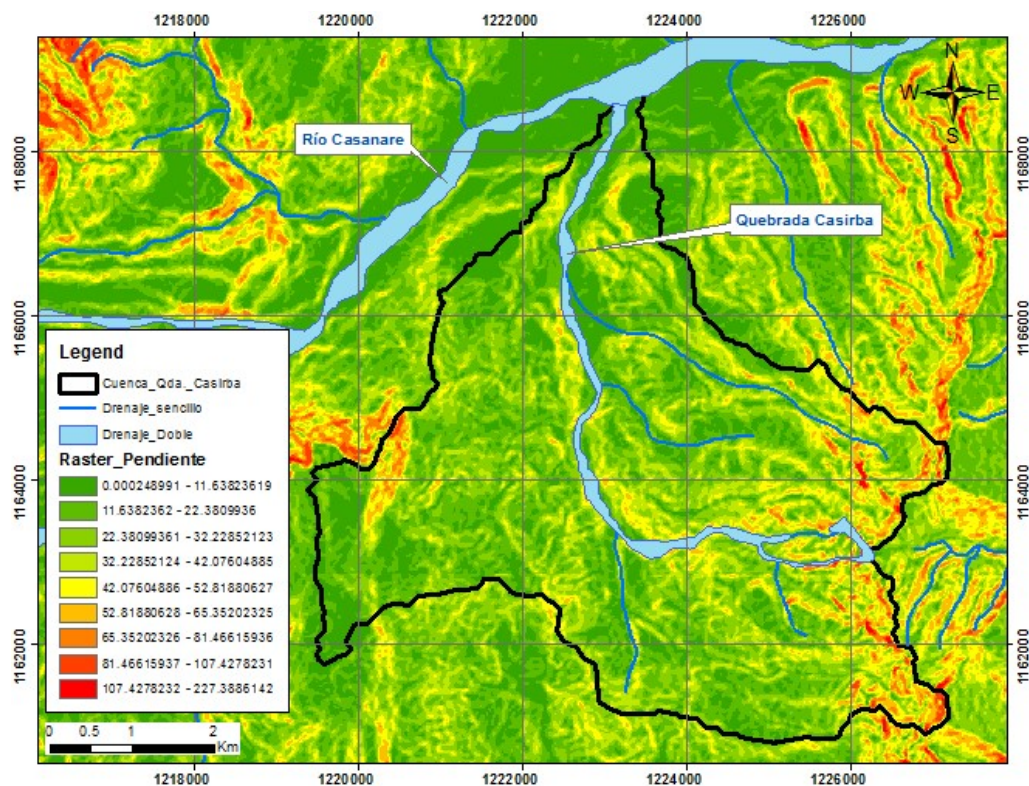
La elevación media de la cuenca de la Quebrada Casirba como se presenta en la **Figura 4-2** es de 914,6 msnm.



**Figura 4-2. Mapa de elevación media de la cuenca en estudio. Quebrada Casirba**

#### **4.2.2 Pendiente media de la cuenca**

La pendiente media de la cuenca de la Quebrada Casirba como se presenta en la **Figura 4-3** es del 25,6%, lo cual de acuerdo a la Resolución No. 2965 de septiembre 12 de 1995 emitida por el IGAC (ver **Tabla 4-7**) se clasifica como una pendiente Fuertemente Quebrado, es decir, son tierras con diferentes formas: Inclinationes y longitud de pendientes, las cuales pueden ser cortas o largas con lomos redondeados, afilados, o ambos con pendientes.



**Figura 4-3. Mapa de pendiente media de la cuenca en estudio. Quebrada Casirba**

**Tabla 4-7. Rangos aproximados de la pendiente media de la cuenca**

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
3 a 7	Ligeramente Ondulado
7 a 12	Ondulado
12 a 25	Fuertemente Ondulado
25 a 50	Fuertemente Quebrado
50 a 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

## 5 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

Para la caracterización hidrológica se requiere hacer una descripción breve de los principales afluentes localizados en la zona de estudio.

### *Sistemas Lénticos*

Son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir como ciénagas, lagos, lagunas, humedales o pantanos. Estos sistemas no se presentan cerca de la zona de estudio.

### *Sistemas Lóticos*

Son todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección. Ejemplo: ríos, caños y quebradas. La Quebrada Casirba y sus afluentes (sin nombre) clasifican dentro de este sistema, al igual que el Río Casanare.

Los cálculos desarrollados a continuación, se presentan en el ANEXO 3 Estaciones IDEAM y en el ANEXO 4 Caracterización Hidrológica.

## 5.1 VARIABLES Y PARÁMETROS PARA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

La teoría de estos parámetros se encuentra en el ítem 2.1.5 Variables y parámetros para modelación hidrológica y los resultados se presentan a continuación.

### 5.1.1 Análisis de Precipitación

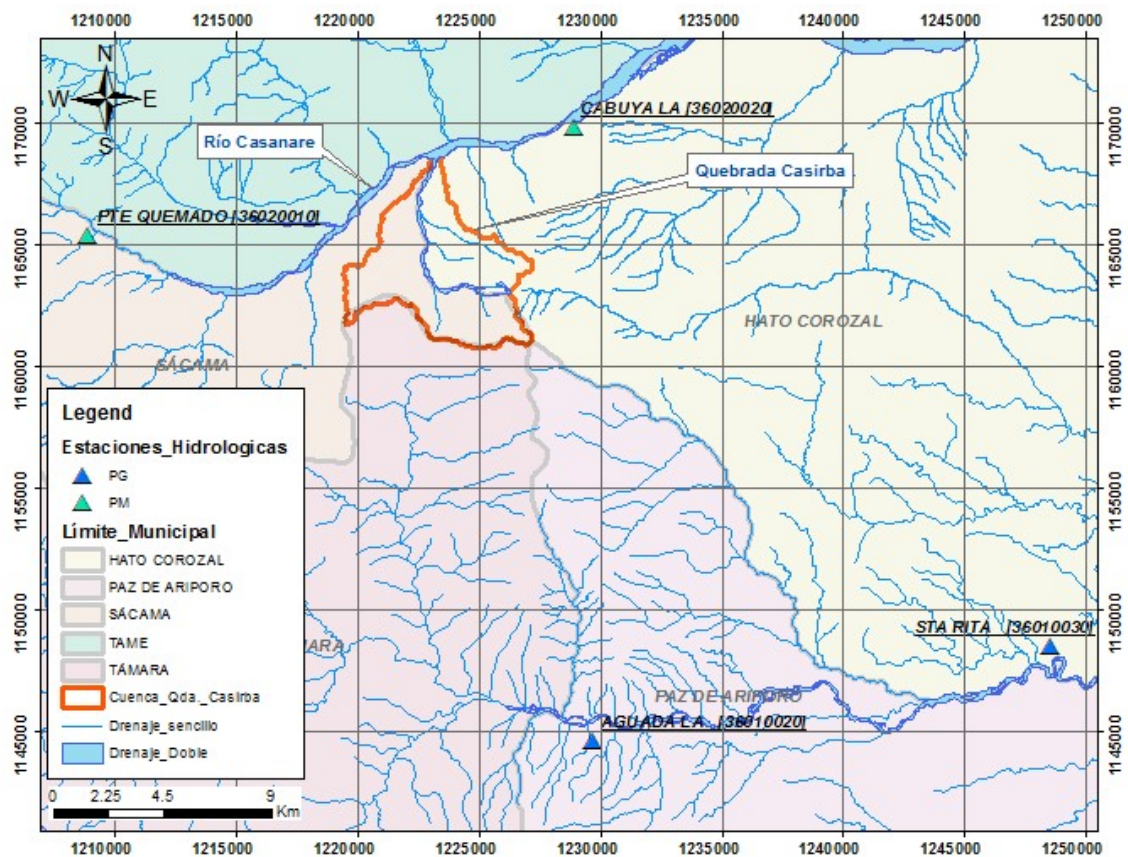
Este análisis de precipitación se realizó para las estaciones cercanas a la zona de estudio, activas y operadas por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014). Las características de las estaciones se presentan en la **Tabla 5-1** y su localización en la **Figura 5-1**.

**Tabla 5-1. Características de las estaciones hidrológicas**

<u>Código</u>	<u>Estación</u>	<u>Tipo</u>	<u>msnm</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
36020020	La Cabuya	PM	575	1228871,83	1169824,27
36020010	Pte Quemado	PM	1020	1208905,62	1165358,61
36010020	La Aguada	PG	500	1229638,2	1144606,41
36010030	Sta Rita	PG	350	1248488,51	1148469,63

*Dónde:*

*PG: Pluviográfica, PM: Pluviométrica.*



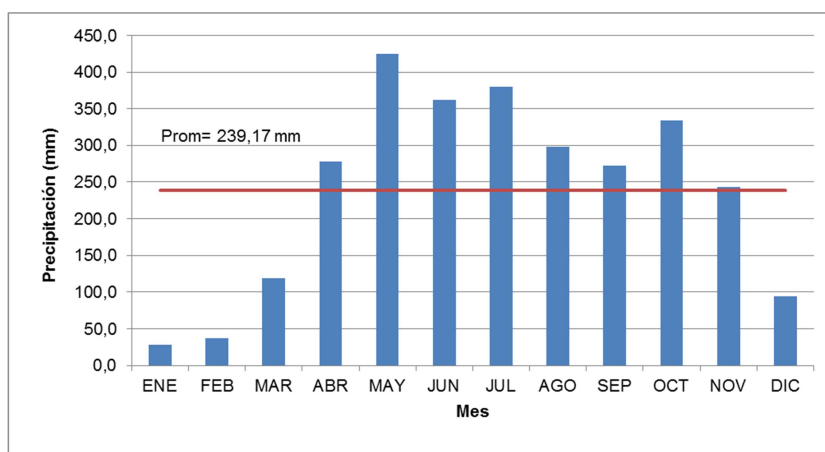
**Figura 5-1. Localización de las estaciones hidrológicas cercanas a la cuenca de estudio. Quebrada Casirba**



### 5.1.1.1 Precipitación total

#### *Estación La Cabuya*

Esta estación registró una precipitación media multianual de 2870,07 mm y un promedio mensual de 239,17 mm, en el periodo 1984-2016. Como se observa en la **Figura 5-2**, la precipitación presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a noviembre.



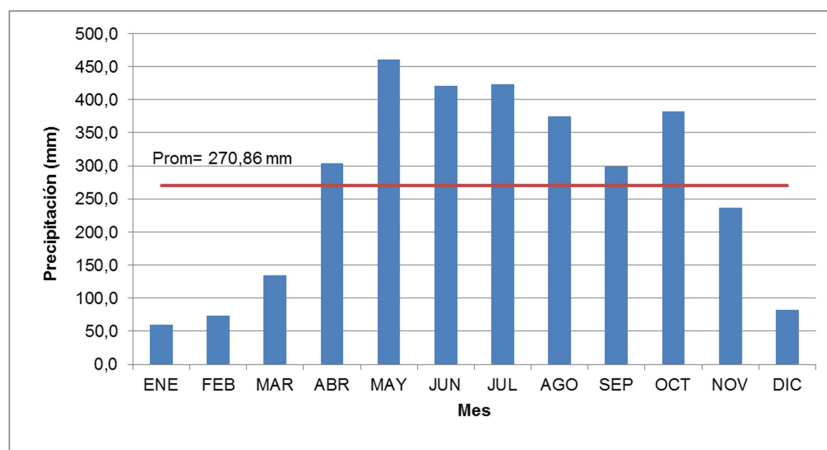
**Figura 5-2.** Distribución temporal de precipitación total - Estación La Cabuya

**Tabla 5-2.** Distribución temporal de precipitación total (mm). Estación La Cabuya

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
28,39	37,36	119,31	278,12	424,26	361,56	379,81	297,78	272,81	333,57	243,19	93,91	2870,07

#### *Estación Pte Quemado*

Esta estación registró una precipitación media multianual de 3250,37 mm y un promedio mensual de 270,86 mm, en el periodo 1984-2015. Como se observa en la **Figura 5-3**, la precipitación presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a octubre.



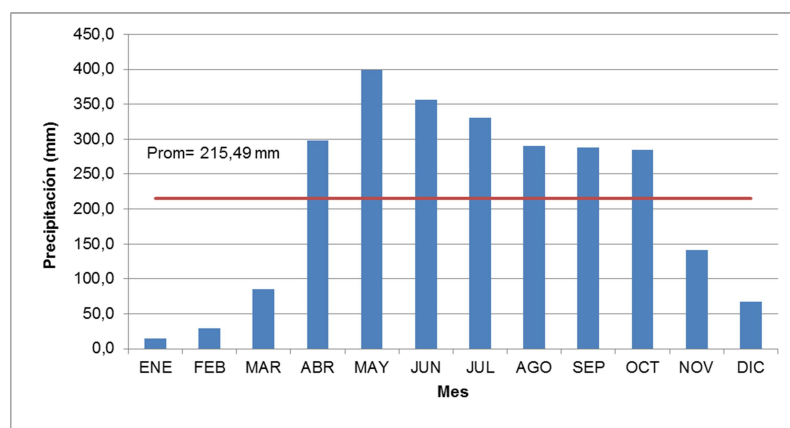
**Figura 5-3.** Distribución temporal de precipitación total - Estación Pte Quemado

**Tabla 5-3.** Distribución temporal de precipitación total (mm). Estación Pte Quemado

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
59,82	73,28	134,40	303,25	460,39	420,62	423,53	374,65	298,95	382,67	236,25	82,56	3250,37

### ***Estación La Aguada***

Esta estación registró una precipitación media multianual de 2585,94 mm y un promedio mensual de 215,49 mm, en el periodo 1996-2016. Como se observa en la **Figura 5-4**, la precipitación presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a octubre.



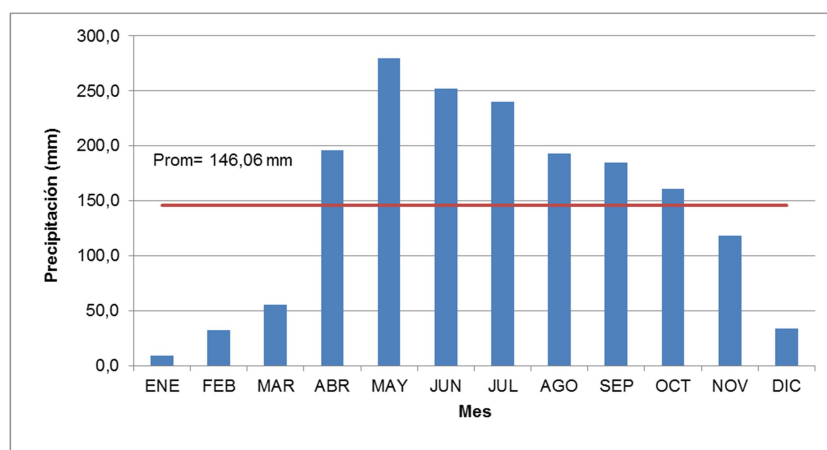
**Figura 5-4.** Distribución temporal de precipitación total - Estación La Aguada

**Tabla 5-4.** Distribución temporal de precipitación total (mm). Estación La Aguada

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
14,96	28,93	85,15	298,02	399,26	356,84	331,13	290,75	287,68	284,92	140,78	67,52	2585,94

### *Estación Sta Rita*

Esta estación registró una precipitación media multianual de 1752,68 mm y un promedio mensual de 146,06 mm, en el periodo 1995-2016. Como se observa en la **Figura 5-5**, la precipitación presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a octubre.



**Figura 5-5.** Distribución temporal de precipitación total - Estación La Aguada

**Tabla 5-5.** Distribución temporal de precipitación total (mm). Estación La Aguada

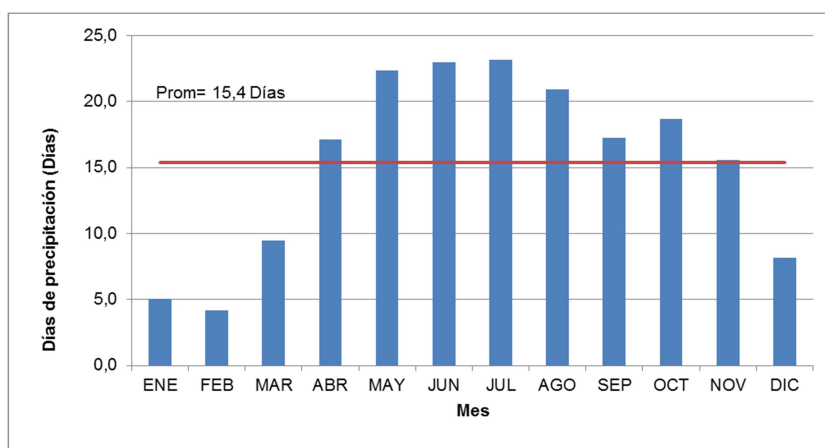
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
8,89	32,23	55,51	195,66	279,46	251,46	240,19	192,43	184,90	160,35	117,80	33,82	1752,68



### 5.1.1.2 Precipitación No. de días

#### *Estación La Cabuya*

Esta estación registró un promedio de días con precipitación de 15 días para el periodo 1984-2016, lo cual indica que en un año promedio se registran 185 días con precipitación. El mes de mayor número de días de lluvias es julio y su distribución se presenta en la **Figura 5-6**.



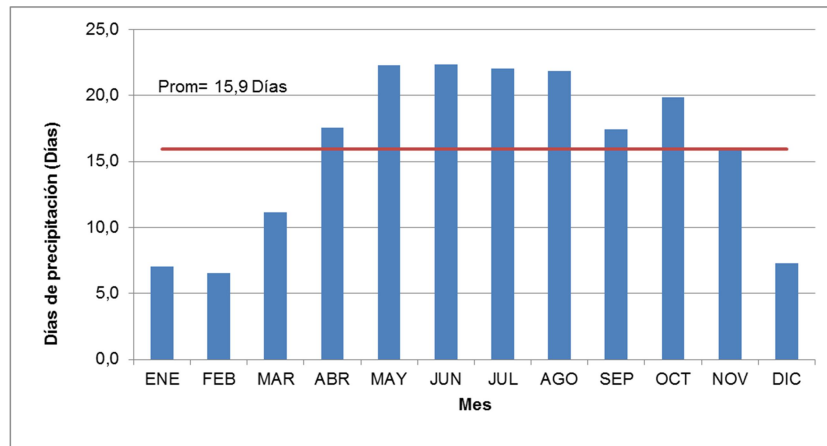
**Figura 5-6.** Distribución temporal de No. Días con precipitación - Estación La Cabuya

**Tabla 5-6.** Distribución temporal de No. Días con precipitación (días). Estación La Cabuya

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
5,03	4,17	9,45	17,13	22,35	23,00	23,14	20,89	17,26	18,66	15,57	8,13	184,78

#### *Estación Pte Quemado*

Esta estación registró un promedio de días con precipitación de 16 días para el periodo 1984-2015, lo cual indica que en un año promedio se registran 191 días con precipitación. El mes de mayor número de días de lluvias es junio y su distribución se presenta en la **Figura 5-7**.



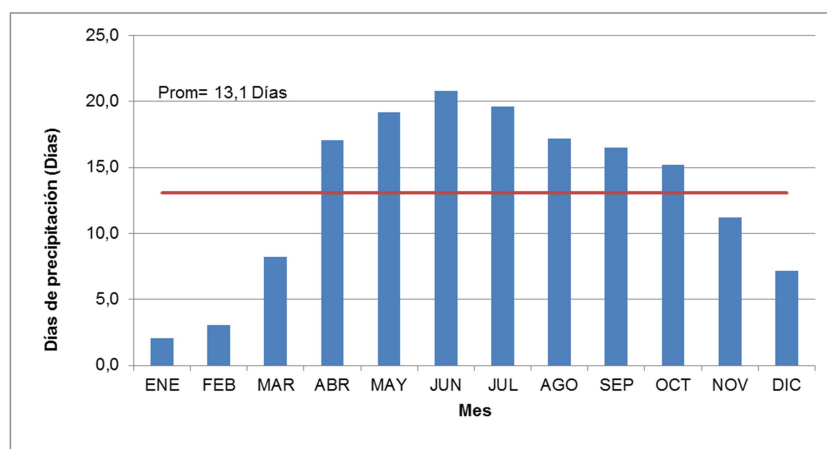
**Figura 5-7.** Distribución temporal de No. Días con precipitación - Estación Pte Quemado

**Tabla 5-7.** Distribución temporal de No. Días con precipitación (días). Estación Pte Quemado

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
7,03	6,53	11,13	17,56	22,28	22,34	22,03	21,83	17,46	19,88	15,86	7,30	191,24

### *Estación La Aguada*

Esta estación registró un promedio de días con precipitación de 13 días para el periodo 1984-2015, lo cual indica que en un año promedio se registran 157 días con precipitación. El mes de mayor número de días de lluvias es junio y su distribución se presenta en la **Figura 5-8**.



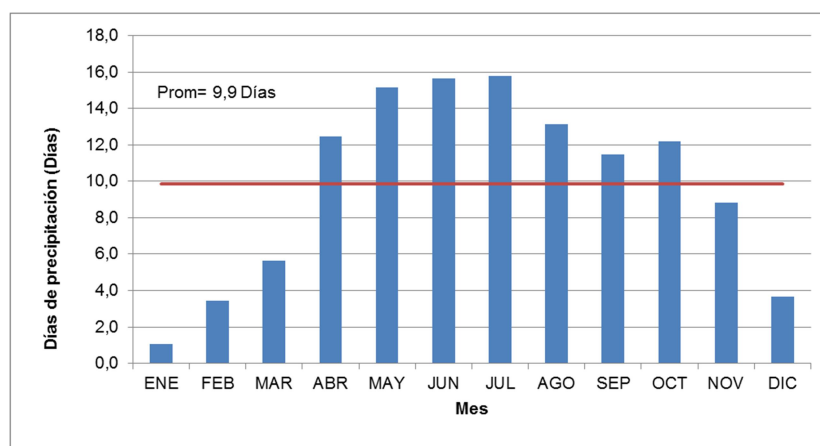
**Figura 5-8.** Distribución temporal de No. Días con precipitación - Estación La Aguada

**Tabla 5-8.** Distribución temporal de No. Días con precipitación (días). Estación La Aguada

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2,06	3,06	8,21	17,05	19,17	20,79	19,61	17,16	16,47	15,22	11,21	7,17	157,17

### *Estación Sta Rita*

Esta estación registró un promedio de días con precipitación de 9 días para el periodo 1995-2016, lo cual indica que en un año promedio se registran 118 días con precipitación. El mes de mayor número de días de lluvias es julio y su distribución se presenta en la **Figura 5-9**.



**Figura 5-9.** Distribución temporal de No. Días con precipitación - Estación La Aguada

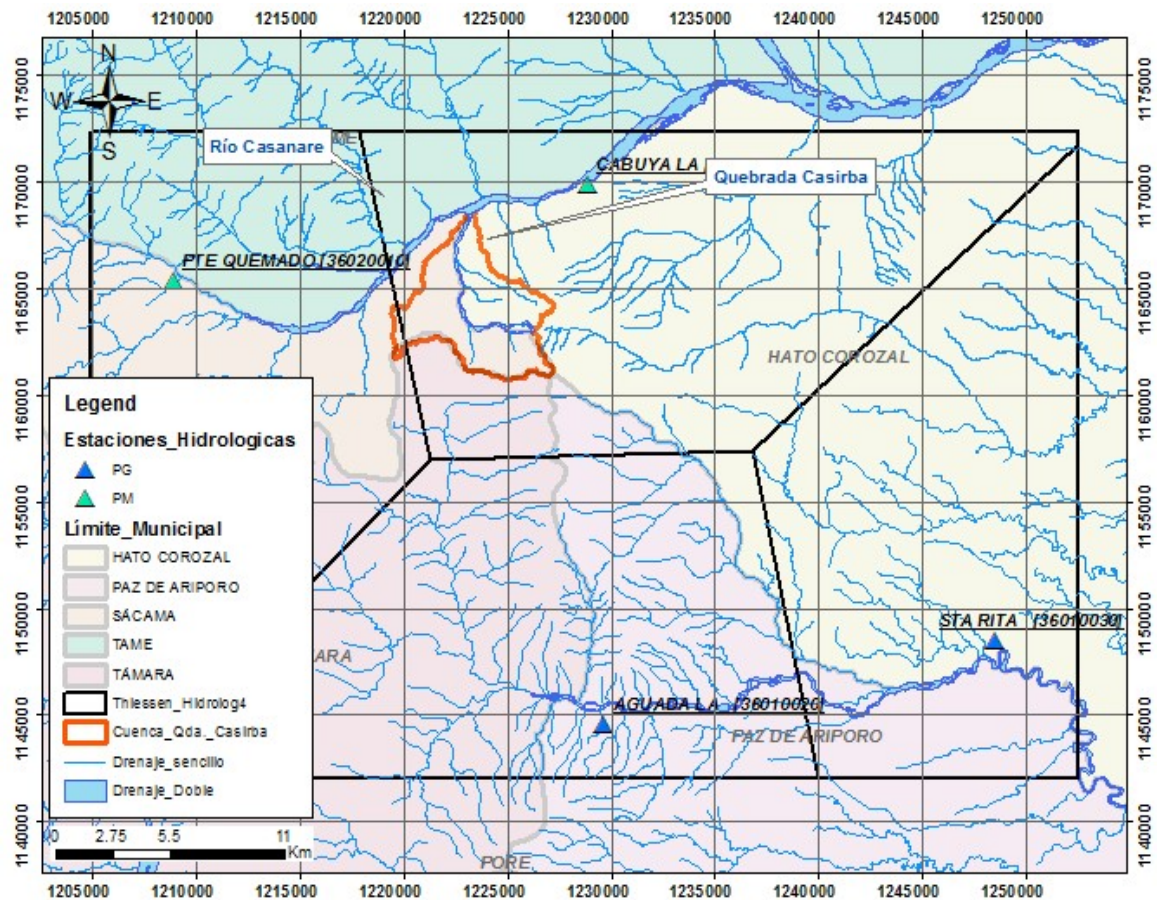
**Tabla 5-9.** Distribución temporal de No. Días con precipitación (días). Estación La Aguada

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1,05	3,44	5,63	12,45	15,16	15,63	15,79	13,11	11,47	12,21	8,84	3,68	118,47

### **5.1.1.3 Precipitación maxima**

Para este análisis y con el fin de determinar el comportamiento mensual de la precipitación máxima sobre la cuenca de estudio se utilizó el método de los polígonos de

Thiessen (ver **Figura 5-10**) que tiene en cuenta todos los registros de cada una de las estaciones y el factor de representatividad de cada una de las estaciones sobre las cuencas en estudio.



**Figura 5-10. Polígonos de Thiessen sobre la cuenca en estudio. Quebrada Casirba**

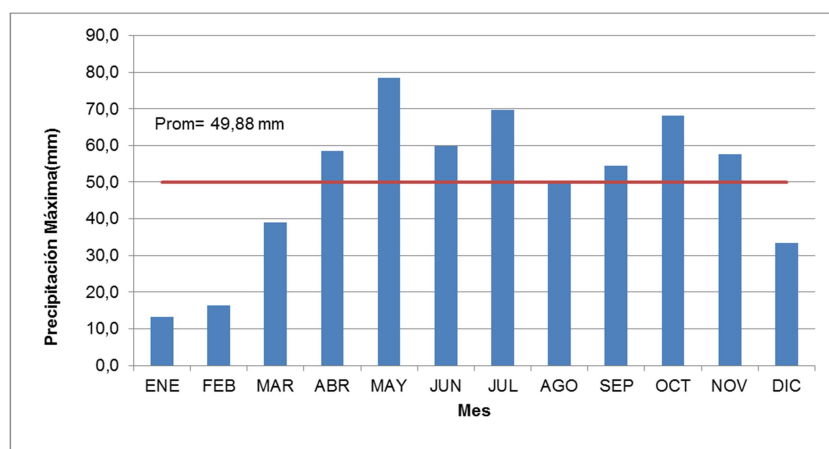
De acuerdo a lo anterior, las estaciones que más influencia tienen sobre la cuenca en estudio son la estación La Cabuya y estación Pte Quemado. En la **Tabla 5-10**, se presenta el área total y el porcentaje de área que representa cada estación sobre la cuenca Quebrada Casirba.

**Tabla 5-10.** Áreas sobre la cuenca de estudio. Qda Casirba

Nombre	Área sobre la cuenca km <sup>2</sup>	Área de la cuenca %
Cuenca Qda. Casirba	31,87 Área total cuenca	1,00
Estación La Cabuya	30,98	0,97
Estación Pte Quemado	0,89	0,03

### ***Estación La Cabuya***

Esta estación registró una precipitación promedio máxima en 24 hr de 49,88 mm, en el periodo 1984-2016. Como se observa en la **Figura 5-11**, la precipitación presenta un régimen bimodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a julio y septiembre a noviembre.



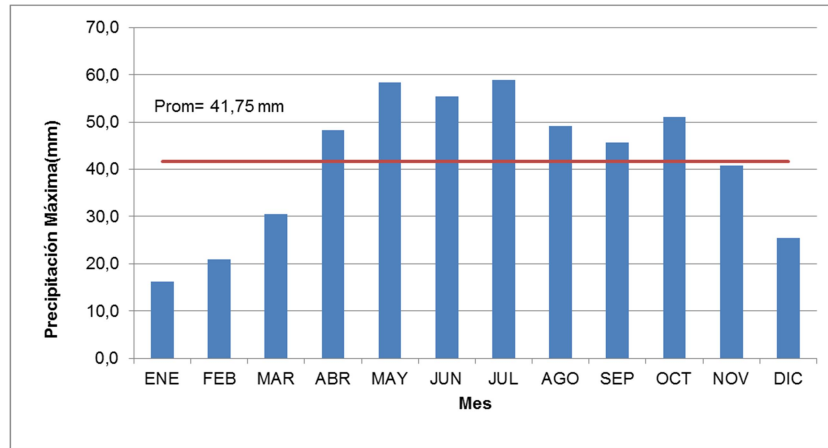
**Figura 5-11.** Distribución temporal de precipitación máxima en 24 hr- Estación La Cabuya

**Tabla 5-11.** Distribución temporal de precipitación máxima en 24 hr (mm). Estación La Cabuya

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
13,21	16,40	39,01	58,53	78,36	59,96	69,61	49,82	54,50	68,17	57,65	33,37

### ***Estación Pte Quemado***

Esta estación registró una precipitación promedio máxima en 24 hr de 41,75 mm, en el periodo 1984-2015. Como se observa en la **Figura 5-12**, la precipitación presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a octubre.



**Figura 5-12.** Distribución temporal de precipitación máxima en 24 hr- Estación Pte Quemado

**Tabla 5-12.** Distribución temporal de precipitación máxima en 24 hr (mm). Estación Pte Quemado

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
13,21	16,40	39,01	58,53	78,36	59,96	69,61	49,82	54,50	68,17	57,65	33,37

Posteriormente, se realizó para cada estación de influencia una prueba estadística de datos dudosos método del Water Resources Council de los Estados Unidos, recomendado para detectar los puntos que se alejan de la tendencia de los valores máximos por encima o por debajo y facilitar la toma de decisiones de retención o eliminación de datos que pueden afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos. Esta metodología determina los

valores de los límites superior e inferior a partir de los cuales se eliminan los valores que no se consideran estadísticamente aceptables. Para estas estaciones, todos los datos se consideran aceptables, excepto para los valores de los años 2002 y 2003 de la estación Pte Quemado, por lo cual se retiran de la serie a analizar al no representar al comportamiento de las precipitaciones en el sitio de cada estación.

**Tabla 5-13.** Prueba de datos dudosos. Estación La Cabuya

Número Datos	32	Desviación Estandar $S_y$	0,0836
$K_n$	2,5910	Coefficiente Asimetría $C_s$	0,1750
Valor Máximo	139,50		
Valor Mínimo	79,20		
$y_H$	2,2309	$y_L$	1,7979
$Q_H$	170	$Q_L$	63

Año	Caudal m <sup>3</sup> /s	$y = \log x$	$(y - \bar{y})^2$	$(y - \bar{y})^3$
1984	137,0	2,1367	0,0150	0,0018
1985	95,0	1,9777	0,0013	0,0000
1986	125,0	2,0969	0,0068	0,0006
1987	110,0	2,0414	0,0007	0,0000
1988	137,3	2,1377	0,0152	0,0019
1989	99,5	1,9978	0,0003	0,0000
1990	87,5	1,9420	0,0052	-0,0004
1991	83,7	1,9227	0,0084	-0,0008
1992	91,3	1,9605	0,0029	-0,0002
1993	106,6	2,0278	0,0002	0,0000
1994	130,0	2,1139	0,0099	0,0010
1995	90,4	1,9562	0,0034	-0,0002
1996	81,3	1,9101	0,0109	-0,0011
1997	95,7	1,9809	0,0011	0,0000
1998	120,0	2,0792	0,0042	0,0003
2000	79,2	1,8987	0,0134	-0,0015
2001	81,5	1,9112	0,0107	-0,0011
2002	120,0	2,0792	0,0042	0,0003
2003	90,1	1,9547	0,0036	-0,0002
2004	115,0	2,0607	0,0021	0,0001
2005	99,7	1,9987	0,0002	0,0000
2006	110,9	2,0449	0,0009	0,0000
2007	81,4	1,9106	0,0108	-0,0011
2008	81,0	1,9085	0,0112	-0,0012
2009	110,6	2,0438	0,0009	0,0000
2010	133,6	2,1258	0,0124	0,0014
2011	134,0	2,1271	0,0127	0,0014
2012	139,5	2,1446	0,0169	0,0022
2013	135,0	2,1303	0,0134	0,0016
2014	88,7	1,9479	0,0044	-0,0003
2015	80,0	1,9031	0,0124	-0,0014
2016	97,5	1,9890	0,0006	0,0000
<b>S =</b>		<b>64,4603</b>	<b>0,2165</b>	<b>0,0030</b>
<b><math>\bar{y} =</math></b>		<b>2,0144</b>		

Fórmulas:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^3}{(n-1)(n-2)S_y^3}$$

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

$$Q_H = 10^{y_H}$$

$$Q_L = 10^{y_L}$$



**Tabla 5-14. Prueba de datos dudosos. Estación Pte Quemado**

Número Datos	32	Desviación Estandar $S_y$	0,3032
$K_n$	2,5910	Coefficiente Asimetría $C_s$	-3,1856
Valor Máximo	138,40		
Valor Mínimo	5,80		
$y_H$	2,6513	$y_L$	1,0800
$Q_H$	448	$Q_L$	12

Año	Caudal m³/s	$y = \log x$	$(y - \bar{y})^2$	$(y - \bar{y})^3$
1984	71,0	1,8513	0,0002	0,0000
1985	96,2	1,9832	0,0138	0,0016
1986	87,0	1,9395	0,0055	0,0004
1987	103,6	2,0154	0,0224	0,0034
1988	85,0	1,9294	0,0041	0,0003
1989	87,3	1,9410	0,0057	0,0004
1990	106,7	2,0282	0,0264	0,0043
1991	112,0	2,0492	0,0337	0,0062
1992	72,3	1,8591	0,0000	0,0000
1993	113,2	2,0538	0,0354	0,0067
1994	72,5	1,8603	0,0000	0,0000
1995	57,0	1,7559	0,0121	-0,0013
1996	96,0	1,9823	0,0136	0,0016
1997	63,0	1,7993	0,0044	-0,0003
1998	110,0	2,0414	0,0309	0,0054
1999	77,0	1,8865	0,0004	0,0000
2000	87,0	1,9395	0,0055	0,0004
2001	58,0	1,7634	0,0105	-0,0011
2002	5,9	0,7709	1,1987	-1,3123
2003	5,8	0,7634	1,2150	-1,3392
2004	100,0	2,0000	0,0180	0,0024
2005	122,0	2,0864	0,0487	0,0107
2006	80,0	1,9031	0,0014	0,0001
2007	80,0	1,9031	0,0014	0,0001
2008	80,5	1,9058	0,0016	0,0001
2009	106,0	2,0253	0,0255	0,0041
2010	105,5	2,0233	0,0248	0,0039
2011	80,0	1,9031	0,0014	0,0001
2012	138,4	2,1411	0,0759	0,0209
2013	62,0	1,7924	0,0054	-0,0004
2014	90,0	1,9542	0,0078	0,0007
2015	71,0	1,8513	0,0002	0,0000
<b>S =</b>		<b>59,7021</b>	<b>2,8502</b>	<b>-2,5811</b>
<b><math>\bar{y} =</math></b>		<b>1,8657</b>		

Fórmulas:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^3}{(n-1)(n-2)S_y^3}$$

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

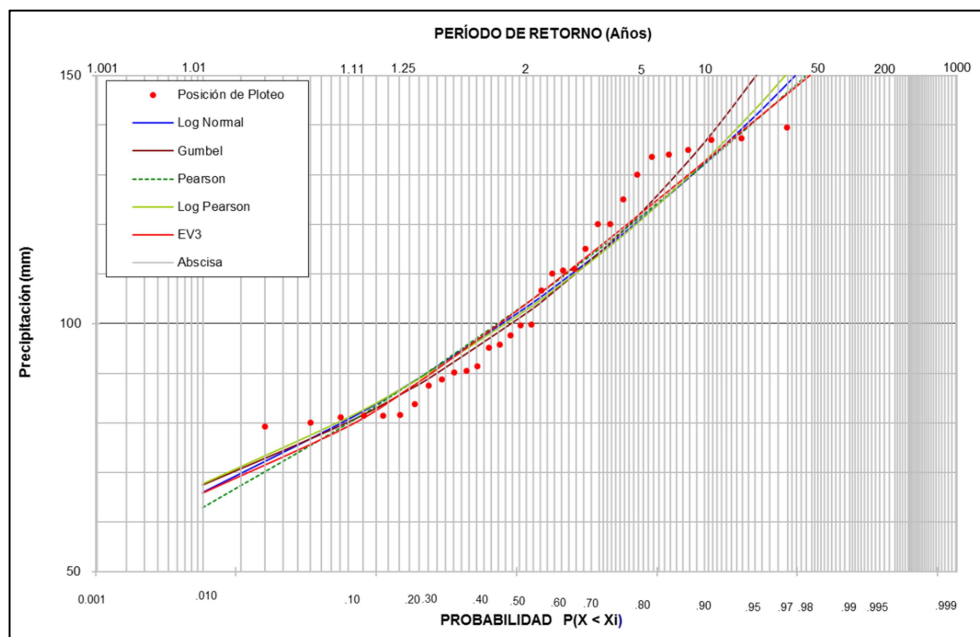
$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

$$Q_H = 10^{y_H}$$

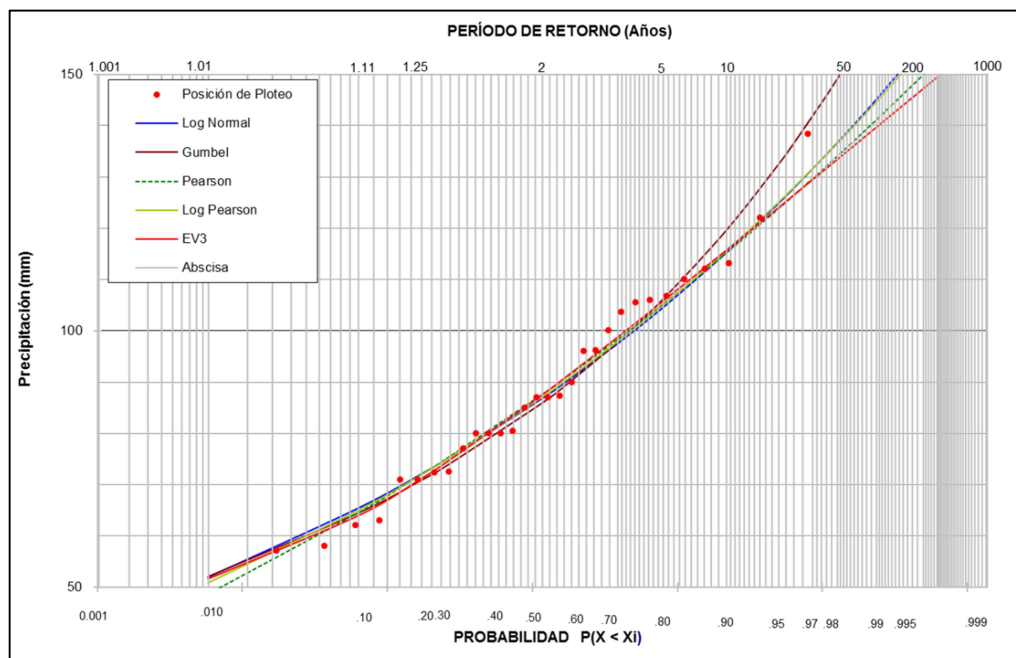
$$Q_L = 10^{y_L}$$

Por otra parte, se realizó el ajuste estadístico mediante diferentes funciones de distribución de probabilidad, en las que se encuentra Normal, Gumbel, Pearson, Log-Pearson, Log-Normal y EV3. Con el propósito de estimar las precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno entre 2,33 – 50 y 100 años, se presenta los resultados gráficos en la **Figura 5-13** y **Figura 5-14**.

**Figura 5-13.** Precipitaciones máximas en 24 horas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad – Estación La Cabuya



**Figura 5-14.** Precipitaciones máximas en 24 horas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad – Estación Pte Quemado



Utilizando como criterios el resultado gráfico de los ajustes estadísticos presentados anteriormente y tomando el mejor valor de Chi Cuadrado, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel para las dos estaciones y su distribución para los periodos de retorno 2,33 – 50 y 10 años se presenta en la **Tabla 5-15**.

**Tabla 5-15.** Distribución de precipitación máxima en 24 horas con Distribución Gumbel

<b>DISTRIBUCIÓN DE P MÁXIMOS mm (Gumbel)</b>		
<b>Tr (años)</b>	<b>La Cabuya</b>	<b>Pte Quemado</b>
2,33	105,99	89,76
50	166,73	149,18
100	179,49	161,67

Ahora bien, teniendo en cuenta la distribución presentada en la **Tabla 5-15** y el porcentaje de área de influencia de la estación sobre la cuenca en estudio (ver **Tabla 5-10**), se presenta la **Tabla 5-16** con la Distribución de precipitación máxima en 24 horas en la cuenca de estudio. Quebrada Casirba.

**Tabla 5-16.** Distribución de precipitación máxima en 24 horas en la cuenca de estudio.

<b>PRECIPITACIÓN MÁX 24 hr Cuenca Qda Casirba (mm)</b>	
2,33	105,54
50	166,24
100	178,99

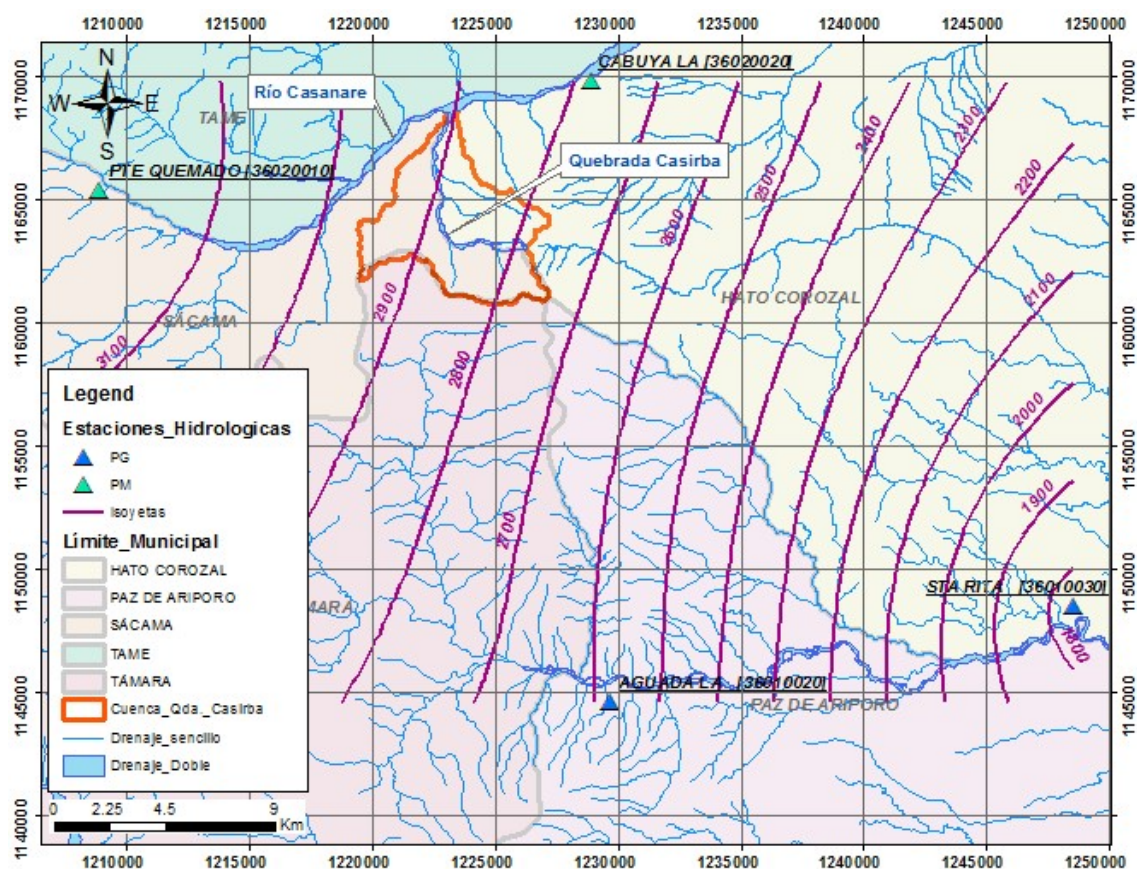
### 5.1.2 Distribución espacial de la Precipitación

Para conocer el comportamiento espacial de la precipitación, se elaboraron las isoyetas de precipitación total media anual para la zona del proyecto con la ayuda del software Surfer7 el cual aplica el método de interpolación Kriging. Las isoyetas fueron realizadas tomando como base las estaciones del IDEAM que se enlistan a continuación para el periodo 1994-2015; este periodo corresponde al periodo común que tienen las cuatro estaciones utilizadas y que cubren todo el trazado en estudio.

En la **Tabla 5-17**, se presentan las coordenadas y los valores de precipitación anual de las estaciones empleadas y su localización en la **Figura 5-15**.

**Tabla 5-17.** Estaciones base para Isoyetas totales anuales (mm)

<u>Código</u>	<u>Nombre</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Precipitación</u>	<u>msnm</u>	<u>Promedios</u>
36020020	La Cabuya	1228871,83	1169824,27	2785,46	575	232,12
36020010	Pte Quemado	1208905,62	1165358,61	3203,47	1020	266,96
36010020	La Aguada	1229638,2	1144606,41	2585,94	500	215,49
36010030	Sta Rita	1248488,51	1148469,63	1752,68	350	146,06



**Figura 5-15.** Localización de las estaciones e Isoyetas en la cuenca en estudio. Quebrada Casirba

Como se puede observar en la **Figura 5-15**, la precipitación media anual disminuye en sentido oeste este variando desde los 3100 mm hasta los 1800 mm para la zona de estudio. Se observa que las precipitaciones más altas se presentan en las estaciones Pte Quemado. La estación más cercana a la zona de estudio es La Cabuya y presenta una precipitación total multianual de 2870 mm.

### 5.1.3 Análisis de Caudales. (Caudal base)

Debido a que sobre la Quebrada Casirba o cerca a ésta no hay estaciones de caudales que permitan determinarlos de manera directa, se utiliza una metodología indirecta o método regional de Transposición que utiliza relaciones precipitación - Área - Caudal, mediante la siguiente expresión:

$$\frac{Q_{\text{estación}}}{A_{\text{estación}} * P_{\text{estación}}} = \left( \frac{Q_x}{A_x * P_x} \right)$$

Dónde:

$Q_{\text{estación}}$ : Caudal medio para cada período de retorno en la estación cercana

$A_{\text{estación}}$ : Área de la cuenca hasta la estación cercana

$P_{\text{estación}}$ : Precipitación media de la cuenca en la estación cercana

$Q_x$ : Caudal medio para cada Tr (años) en el sitio de proyecto (cuenca Qda. Casirba)

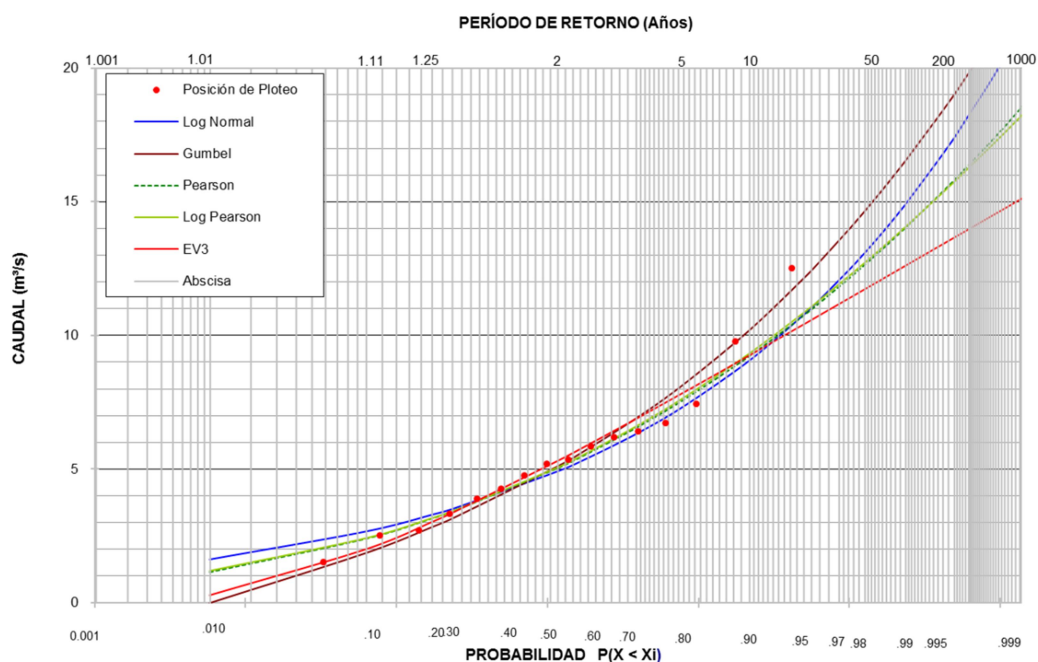
$A_x$ : Área de la cuenca hasta el sitio de proyecto (cuenca Qda. Casirba)

$P_x$ : Precipitación media de la cuenca hasta el sitio de proyecto (cuenca Qda. Casirba)

Se tiene que la estación más cercana que registra parámetros de caudal es la estación Limnimétrica 36017030 Pte Carretera operada por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014), la cual tiene un periodo de registro desde 1997 hasta 2015. Presenta un comportamiento monomodal donde los meses con caudal por encima del promedio 9,73 m<sup>3</sup>/s son de mayo a octubre. Posteriormente, se seleccionaron los caudales

máximos diarios para cada año y se realizó un ajuste de distribución para estimar los caudales máximos diarios esperados para los periodos de retorno 2,33 50 y 100 años para diferentes distribuciones de probabilidad, entre ellas Normal, Gumbel, Pearson, Log-Normal, Log Pearson y EV3. Utilizando como criterio el resultado grafico de los ajustes estadísticos se seleccionaron los valores obtenidos mediante el ajuste de Gumbel.

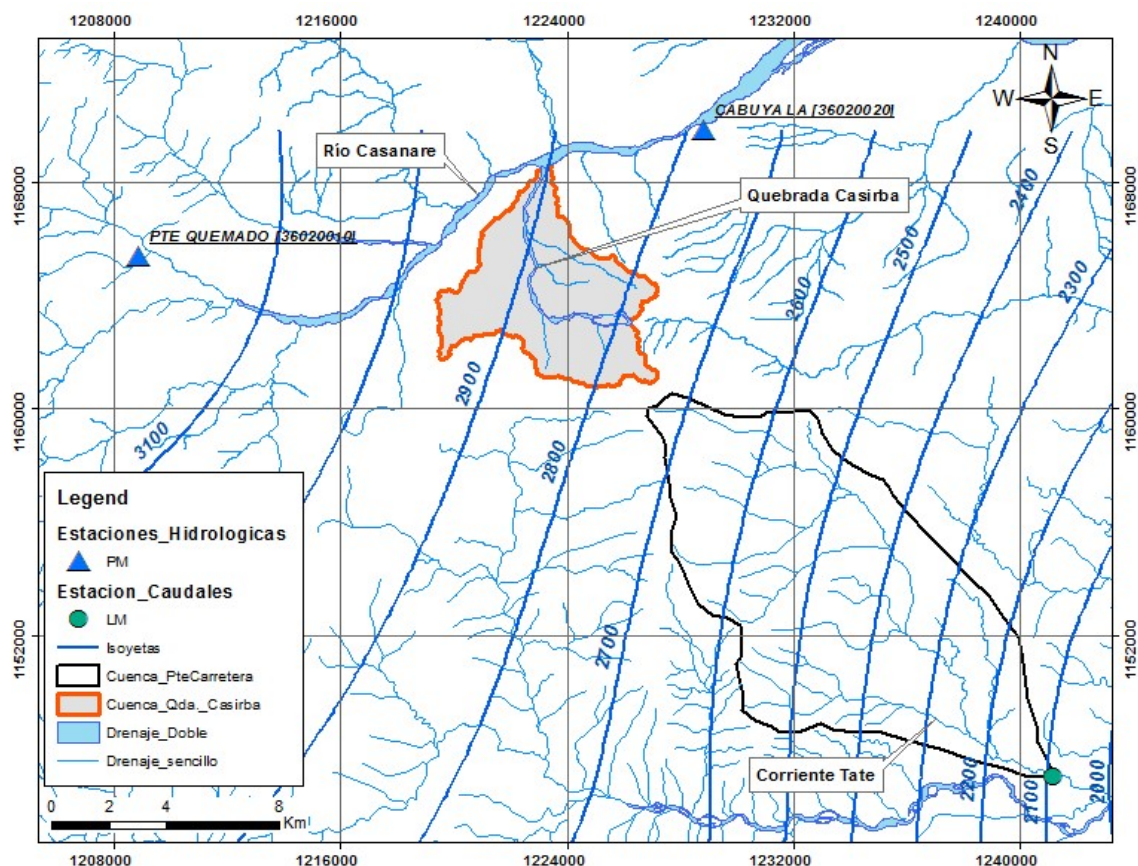
La gráfica de los ajustes estadísticos de la serie de caudales la estación cercana a la zona de estudio Pte Carretera, se presenta en la **Figura 5-16**.



**Figura 5-16.** Distribución de caudales máximos diarios. Estación Pte Carretera

A partir del análisis de distribución espacial de la precipitación (Isoyetas) y con ayuda del software ArcGIS (ver **Figura 5-17**) se calculó la Precipitación media para la cuenca de la estación cercana (Pte Carretera) y de la cuenca en estudio (Qda. Casirba).





**Figura 5-17.** Distribución espacial de la precipitación para la cuenca de la estación cercana (Pte Carretera) y de la cuenca en estudio (Qda. Casirba)

En la **Tabla 5-18**, se presenta los parámetros de precipitación calculados, las áreas de cada cuenca la precipitación media de cada cuenca y los caudales máximos diarios calculados para la cuenca de la Qda Casirba.

**Tabla 5-18.** Caudales base máximos diarios para la cuenca Qda Casirba

Parámetros	Estación Pte Carretera	Cuenca Qda. Casirba
Área (km <sup>2</sup> )	105,05	31,9
P (mm)	2451,06	2864,50
Q (m <sup>3</sup> /s) Tr 2,33 (años)	-	5,31
Q (m <sup>3</sup> /s) Tr 50 (años)	-	13,71
Q (m <sup>3</sup> /s) Tr 100 (años)	-	15,47

#### 5.1.4 Cálculo de Curvas IDF (Intensidad de la Precipitación).

Las curvas intensidad duración frecuencia (curvas IDF) constituyen una forma de sintetizar la información de precipitación para las tormentas de corta duración, y en la mayoría de los casos, es el insumo básico para la estimación de tormentas o eventos de diseño en la modelación hidrológica.

Su construcción se puede realizar por dos métodos diferentes dependiendo de la información disponible: a partir de ajustes estadísticos de registros continuos de precipitación (registros pluviográficos), y a partir de curvas con parámetros regionalizados (curvas sintéticas). Para este estudio se elaboraron curvas IDF sintéticas, ya que no se cuenta con registros continuos de precipitación de las estaciones representativas de la zona de estudio en las estaciones sino que se realizan una o dos lecturas diarias (por ejemplo 7:00 a.m. y 5:00 p.m.) de acuerdo con consultas realizadas a personal especializado del IDEAM y recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial en la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM-Nº 168, 1994).

Para el desarrollo de este análisis se utilizó la metodología de Vargas (Vargas & Díaz Granados, 1998), formulada a partir del análisis de más de 200 curvas IDF y registro pluviométrico concurrente en Colombia, la cual propone la generación sintética de curvas IDF basada en la regionalización de los coeficientes para la siguiente ecuación:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e P T^f$$

La ecuación relaciona la intensidad de la lluvia,  $I$  (mm/h), con la frecuencia o periodo de retorno,  $T$  (años), la duración de los eventos,  $t$  (horas), la precipitación promedio de las máximas anuales para el período en el que se tiene registro,  $M$ , (mm), el número de días de lluvia,  $N$ , y la precipitación media anual,  $PT$ , (mm). Los coeficientes de la ecuación son reportados en Vargas et al., 1998, y para la zona andina, son los que se presentan en la **Tabla 5-19**. Se seleccionó esta



zona, dado que es la que mejor representa los registros de lluvia de la cuenca en estudio. La región Orinoquía sobrevalora los registros.

**Tabla 5-19.** Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF.

Región	a	b	c	d	e	f
Andina	1,61	0,19	0,65	0,75	-0,15	0,08

En la **Tabla 5-20** se presenta los valores de la estación en estudio La Cabuya, a partir de los cuales se elaboraron las curvas IDF. Se resalta que el valor de precipitación máxima en 24 horas corresponde al promedio de las precipitaciones máximas anuales y no al promedio de la serie mensual de registros.

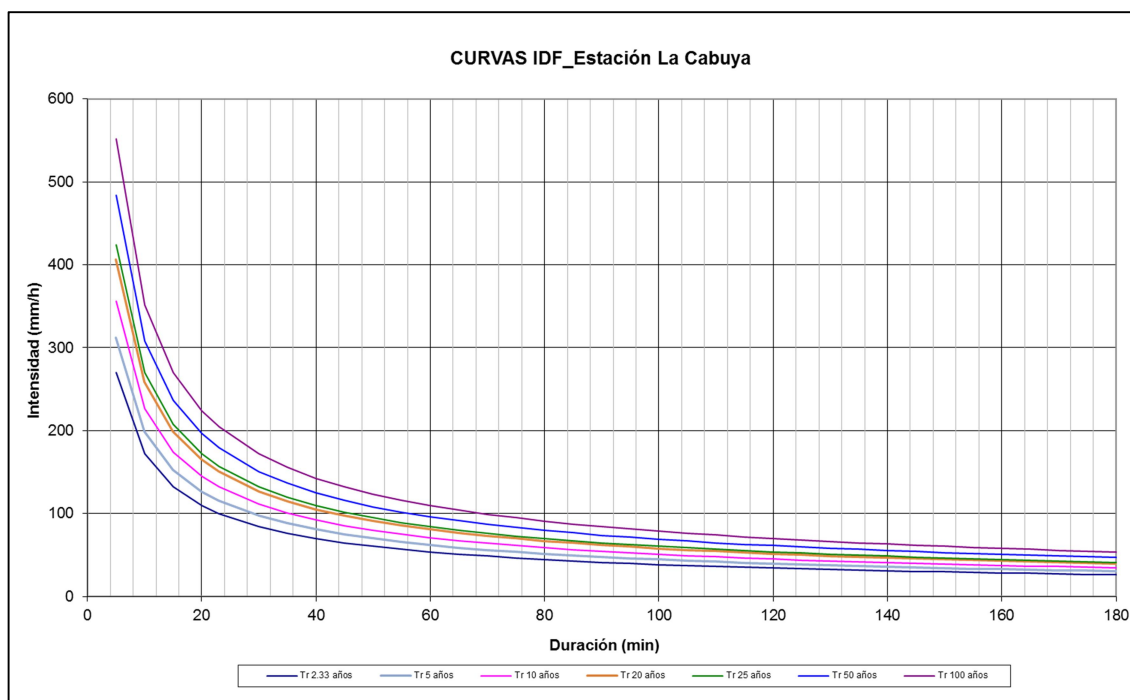
**Tabla 5-20.** Datos de lluvia de la Estación en estudio para elaborar las curvas IDF

Estación	Periodo	Precipitación total anual (PT en mm)	P Máxima en 24h (M en mm)	Número de días de precipitación (N)	Región
La Cabuya	1986-2016	2870,1	105,3	184,8	Andina

De acuerdo con la metodología presentada, en la **Figura 5-18**, se presenta las curvas IDF obtenidas para la estación La Cabuya y el resumen de datos en la **Tabla 5-21**.

**Tabla 5-21.** Valores de intensidades máximas. Estación La Cabuya

Periodo de Retorno (Años)	Intensidad (mm/h)											
	Duración (min)											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>2,33</b>	132,2	109,7	84,3	69,9	60,4	53,7	48,6	44,5	41,3	38,5	36,2	34,2
<b>50</b>	236,7	196,4	150,9	125,1	108,2	96,1	87,0	79,7	73,9	69,0	64,8	61,3
<b>100</b>	270,1	224,0	172,1	142,8	123,5	109,7	99,2	91,0	84,3	78,7	74,0	69,9



**Figura 5-18.** Curvas IDF. Estación La Cabuya

### 5.1.5 Análisis de Número de curva - CN

La teoría de estos parámetros se encuentra en el ítem 2.1.5.4. Número de Curva (CN) y los resultados se presentan a continuación.

Para realizar este análisis, se usó el mapa de cobertura y tierra (2010-2014) del IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014), y el mapa de suelos de territorio colombiano a escala 1:100.000 para el departamento de Casanare (IGAC, 2019). (Ver **Figura 5-19**).

#### 5.1.5.1 Clasificación Hidrológica de los suelos

De acuerdo a lo anterior, para la cuenca en estudio Qda. Casirba se presentan los siguientes tipos de suelos. (Ver **Tabla 5-23**).

**Tabla 5-22.** Clasificación de tipos de suelo presentes en la cuenca de la Qda Casirba

<b>Litología</b>	<b>Características</b>	<b>Área (km²)</b>
Materiales aluviales heterométricos con matriz gruesa	Bien drenados, profundos, de texturas moderadamente gruesas y medianamente finas, muy fuertemente ácidos y fertilidad muy baja	0.114174
Arcillolitas, lodolitas y areniscas	Bien drenados, muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas a finas, muy fuerte a extremadamente ácidos y fertilidad baja y muy baja	0.057093
Arcillolitas, lodolitas y areniscas	Bien drenados, muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas a finas, muy fuerte a extremadamente ácidos y fertilidad baja y muy baja	0.918872
Sedimentos aluviales heterométricos	Excesivamente drenados, muy superficiales, texturas gruesas, alta saturación de aluminio, muy fuertemente ácidos, fertilidad muy baja	0.422683
Sedimentos aluviales finos	Bien drenados, profundos y superficiales, texturas medianamente finas, fuertemente ácidos, fertilidad moderada y baja	0.015265
Arcillolitas, lodolitas y areniscas	Bien drenados, muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas a finas, muy fuerte a extremadamente ácidos y fertilidad baja y muy baja	1.191338
Arcillolitas, lodolitas y areniscas	Bien drenados, muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas a finas, muy fuerte a extremadamente ácidos y fertilidad baja y muy baja	7.610572
Arcillolitas	No suelos, en pendientes fuertes y erosión severa y muy severa	4.476455
Arcillolitas, lodolitas y areniscas	Bien drenados, muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas a finas, muy fuerte a extremadamente ácidos y fertilidad baja y muy baja	16.060844

Siguiendo el proceso descrito en el Manual de drenaje de carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009), necesario para la caracterización de las cuencas del sistema hidrológico en estudio, se considera que la cuenca Qda. Casirba pertenece al **grupo de suelo B y C**.

#### **5.1.5.2 Uso y tratamiento del suelo**

En este ítem se incluye todo tipo de vegetación de la superficie en estudio. Los resultados se presentan en la **Tabla 5-23**, encontrando que en su mayor porcentaje de área se presenta pastos y bosques.

**Tabla 5-23.** Clasificación de uso de suelo presentes en la cuenca de la Qda Casirba

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Área (km²)</b>
Pastos limpios	1.055417
Pastos enmalezados	0.533266

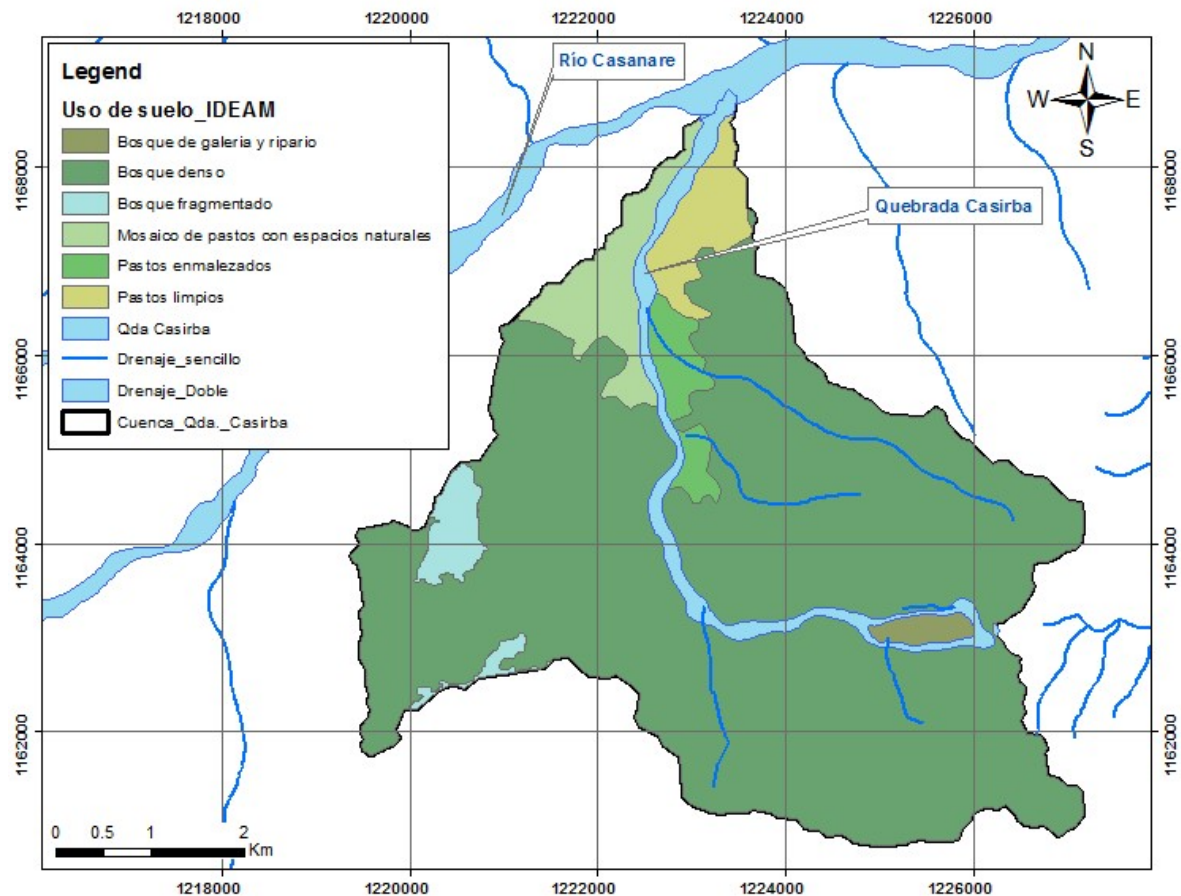
<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Área (km²)</b>
Pastos enmalezados	0.250854
Bosque de galería y ripario	0.286889
Bosque fragmentado	0.157787
Mosaico de pastos con espacios naturales	1.480414
Bosque fragmentado	0.570865
Bosque denso	26.259472

Teniendo en cuenta que se considera que la cuenca en estudio pertenece al grupo de suelo B y C, se realiza un promedio aritmético de los valores teniendo en cuenta la clasificación del uso del suelo y su porcentaje de área dentro de la cuenca y los valores establecidos en el Manual de drenaje de carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009). En la **Tabla 5-24**, se presenta el CNII promedio adoptado para la cuenca en estudio.

**Tabla 5-24.** CNII promedio de la cuenca en estudio

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Condición</b>	<b>Grupo B</b>	<b>Grupo C</b>
Pastos	Buena	61	74
Bosques		55	70
Maleza	Regular	56	70
<b>Promedio CNII</b>		<b>57,4</b>	<b>71,2</b>

El CNIII, es considerado para condiciones extremas es decir que tiene el mayor potencial de escorrentía, de acuerdo con la metodología se adopta cuando la precipitación es mayor a 52 mm. Dado que las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno son superiores a este valor se adopta un valor de CNIII de 86.



**Figura 5-19.** Análisis de CN para la cuenca en estudio. Qda Casirba

### 5.1.6 Método del hidrograma Unitario del SCS

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (*Ven Te Chow*, 1994). Las suposiciones del modelo son: i) El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, ii) El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje, iii) el tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante, iv) las ordenadas de todos los hidrogramas son

directamente proporcionales a la cantidad de escorrentía directa, y v) el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

El SCS propuso un hidrograma sintético triangular cuya geometría (**Figura 5-20**) se define con el área y el tiempo de concentración de la cuenca, así:

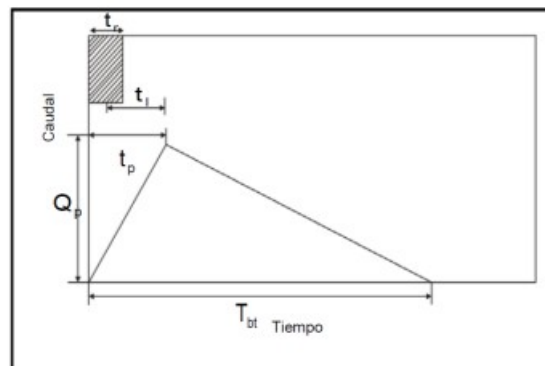
$$Q_p = 0,2083 \frac{A}{t_p} E$$

Donde  $A$  es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ ,  $E$  es la escorrentía unitaria, 1mm, y  $t_p$  el tiempo al pico medio desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la expresión:

$$t_p = \frac{d}{2} + t_l = \frac{d}{2} + 0,6 \cdot t_c$$

Donde  $t_l$  es el tiempo de rezago de la cuenca que corresponde a una fracción (60%) del tiempo de concentración  $t_c$ , definido en el capítulo de morfología, y  $d$  es la duración de exceso de precipitación unitaria. Para finalizar la descripción geométrica del hidrograma, el ancho de la base se define como:

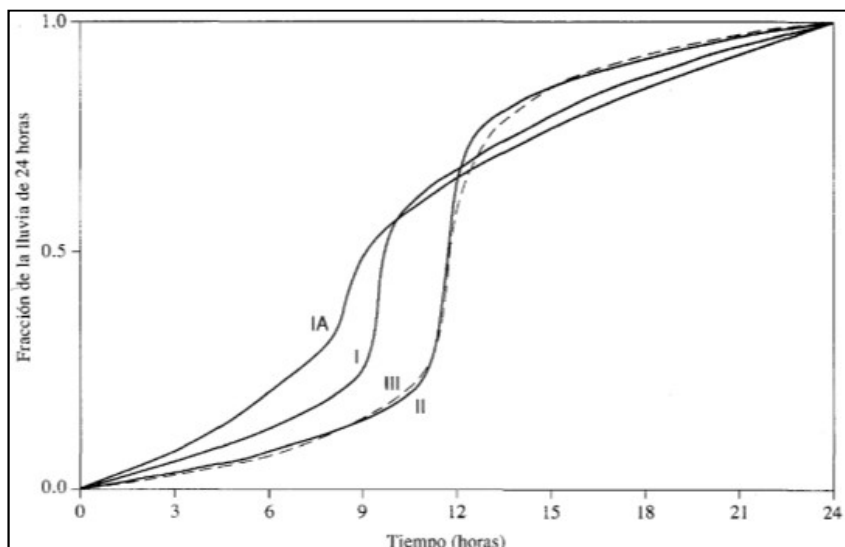
$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$



**Figura 5-20.** Hidrograma Unitario Triangular del SCS

### 5.1.6.1 Tormenta de diseño

Para la aplicación de modelos lluvia-escorrentía es necesario calcular los hietogramas de precipitación, que básicamente son el ordenamiento de la precipitación de diseño durante la duración total del aguacero de diseño y el periodo de retorno que se esté analizando (2,33 50 y 100 años). La metodología implementada corresponde a la propuesta por el SCS (Soil Conservation Service), en la cual se distribuye la precipitación de diseño seleccionando uno de los cuatro tipos de tormenta presentados en la **Figura 5-21**.



**Figura 5-21.** Tipos de distribución de precipitación del SCS

Teniendo en cuenta que en la zona no se han realizado estudios respecto la distribución de las tormentas se adoptó la metodología desarrollada por el SCS adoptando el hietograma Tipo II porque el aguacero inicia con una intensidad baja y continúa con una intensidad alta, se concentra el 80% de la precipitación en el 30% del tiempo, y posteriormente termina con una intensidad baja. Lo cual representa las condiciones críticas de una tormenta y es representativo de la forma de llover en la zona.

Los Cálculos asociados a este numeral (hietogramas de precipitación) se presentan en el ANEXO 4 Caracterización Hidrológica.

### **5.1.6.2 Distribución espacial de precipitación y reducción por área**

Debido a que los registros de precipitación máxima en las cuencas son puntuales por la localización de las estaciones, son máximos en 24 horas y no corresponden a duraciones inferiores de tormentas, se determinó la precipitación máxima promedio sobre las cuencas mediante el uso de diferentes metodologías.

#### ***Factores de reducción por área recomendados por el INVÍAS.***

Para determinar el factor de reducción por área, el manual de drenajes del INVÍAS recomienda el uso de tres ecuaciones y el uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para la Empresa de Acueducto de Bogotá denominado Estudio y revisión de las curvas IDF y del Análisis Espacial de las Tormentas, curvas PADF para la Sabana de Bogotá – Referencia 2.14 del manual de drenajes.

Las ecuaciones recomendadas por el INVÍAS para determinar el factor de reducción por área son las siguientes:

- **Ecuación de Fhrüling:**

$$f(a) = 1,0 - 0,0054A^{0,25}$$

Dónde:

A: Área de drenaje de la Cuenca en m<sup>2</sup>.

- **Ecuación del Institution of Civil Engineers – Inglaterra**

$$f(a) = 1,0 - 0,0268t_c^{-0,261} A^{0,387}$$

Dónde:

A: Área de drenaje de la Cuenca en km<sup>2</sup>.

Tc: tiempo de concentración de la Cuenca en horas (h).

- **Ecuación según datos de Norteamérica**

$$f(a) = 1,0 - 0,05t_c^{0,361} A^{0,264}$$

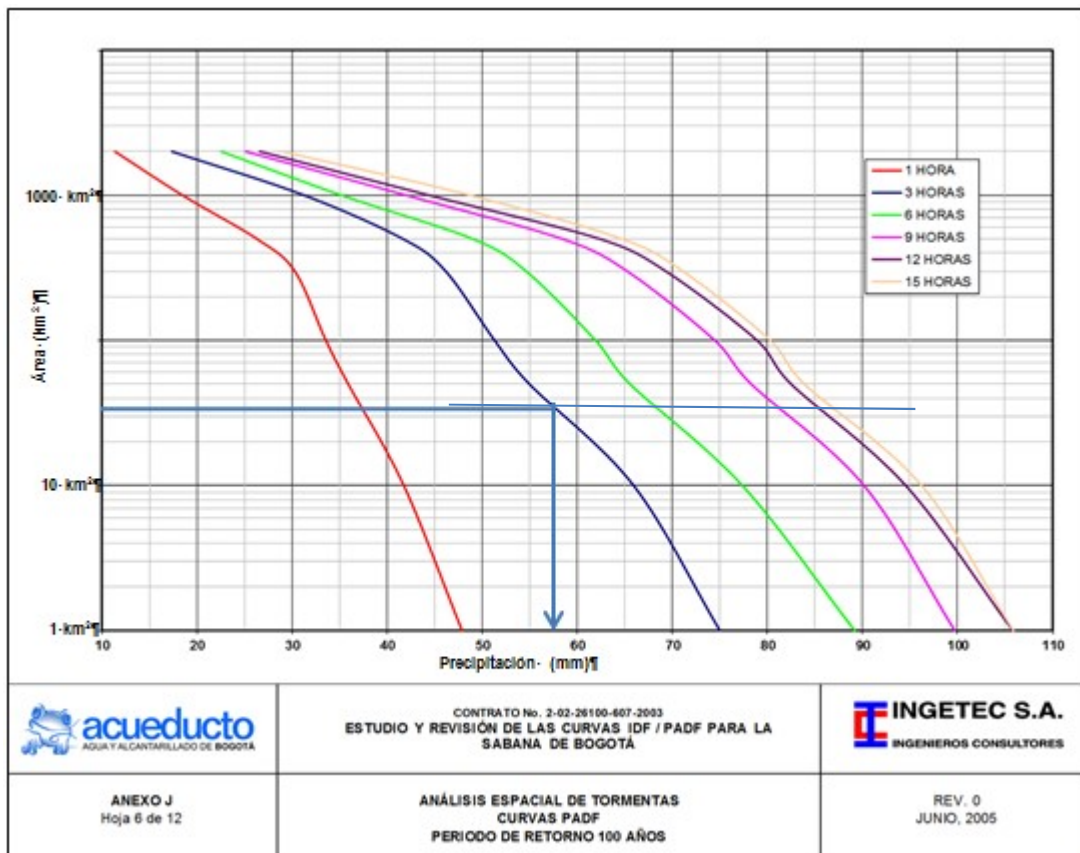


Dónde:

A: Área de drenaje de la Cuenca en  $\text{km}^2$ .

Tc: tiempo de concentración de la Cuenca en horas (h)

En cuanto al uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para el Análisis Espacial de las Tormentas, se presentan a continuación las curvas PADF recomendadas por el INVÍAS, las cuales presentan las curvas de reducción de la lluvia puntual por espacialidad en la cuenca.



**Figura 5-22.** Curvas PADF. Período de retorno de 100 años.

Fuente: Estudio de Análisis Espacial de las Tormentas – Curvas PADF. INGETEC, 2005

El factor de reducción será el resultado de dividir la precipitación correspondiente al área de la cuenca para una duración determinada (en este caso la duración es igual al tiempo de concentración), sobre la precipitación correspondiente a un área de  $1 \text{ km}^2$  para la misma

duración. Para el caso de la cuenca en estudio, la precipitación correspondiente a un área de 31,86 km<sup>2</sup> y una duración igual al tiempo de concentración de aproximadamente 3 horas es de 58 mm y la precipitación para un área de 1 km<sup>2</sup> para la misma duración es de 75 mm, por tanto el factor de reducción por área será el resultado de dividir 58 mm / 75 mm = 0,77.

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos a partir del uso de las ecuaciones mencionadas anteriormente y del uso de las curvas PADF.

**Tabla 5-25.** Factor de reducción por área.

Cuenca	Características		Ecuación				Factor de reducción
	Área (km <sup>2</sup> )	Tc (h)	Fhruling	Institution of Civil Engineers	Datos Norteamérica	Curvas PADF	
<b>Qda Casirba</b>	31,86	2,85	0,59	0,92	0,82	0,77	0,78

Los resultados muestran que con la ecuación del Institution of Civil Engineers de Inglaterra se presentan los mayores factores de reducción y con la ecuación de Fhrüling los menores. Los valores obtenidos con las curvas PADF son intermedios entre los obtenidos con la ecuación de los datos de Norteamérica y con la ecuación de Fhrüling.

### 5.1.7 Método de Bloques Alternos

Este método es una forma simple para desarrollar en hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en  $\eta$  intervalos de tiempo sucesivos de duración sobre una duración total de tiempo.

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis por medio del método de Bloques Alternos, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente se arreglan de la siguiente manera: el valor más bajo se coloca en el

primer lugar, el segundo valor en orden creciente se coloca en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubica en segundo lugar, el cuarto valor en el penúltimo lugar, y así sucesivamente.

Los Cálculos asociados a este numeral, se presentan en el ANEXO 4 Caracterización Hidrológica.

## 6 CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

A continuación se presenta la caracterización climatológica de la cuenca de la Quebrada Casirba hasta el sitio de cruce sobre el cruce de la vía La Cabuya-Sácama en el departamento de Casanare.

El clima está definido por las condiciones meteorológicas registradas durante largos períodos de tiempo y se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura, el brillo solar, la humedad relativa, el viento y otras más.

Los cálculos desarrollados a continuación, se presentan en el ANEXO 3 Estaciones IDEAM y en el ANEXO 5 Caracterización Climatológica.

### 6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La caracterización climatológica de la zona de estudio se realizó con base en los datos registrados en las estaciones operadas por el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) encontradas en las cercanías del área de estudio y que permiten conocer variables como temperatura, evaporación, humedad relativa, nubosidad, brillo solar, tensión de vapor, entre otras.

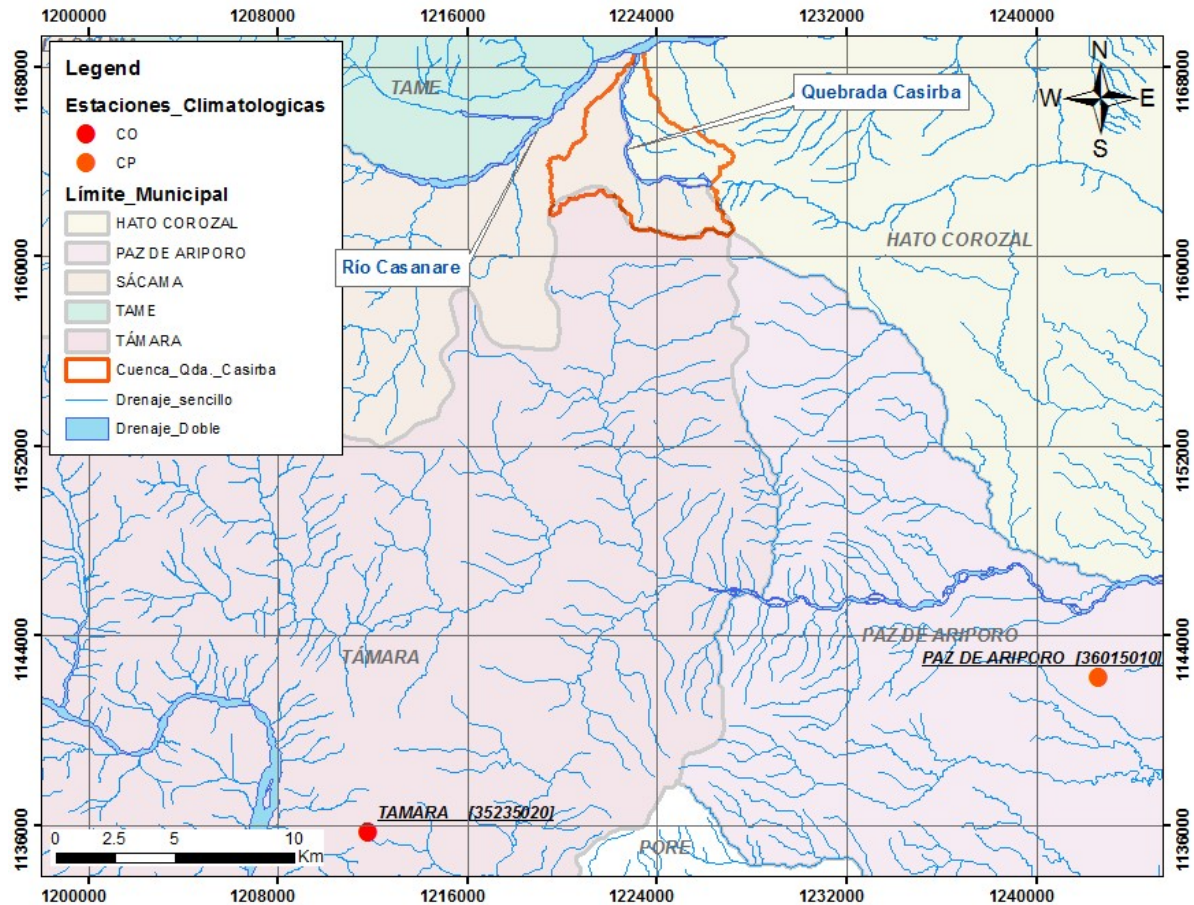
Las características de las estaciones analizadas se presentan en la **Tabla 6-1** y su localización en la **Figura 6-1**.

**Tabla 6-1. Características de las estaciones climatológicas**

Código	Estación	Tipo	Elevación msnm	Periodo		Coordenadas	
						X	Y
36015010	Paz Ariporo	CP	500	1995	2017	1242609,13	1142279,46
35235020	Tamara	CO	1200	1996	2017	1211812,08	1135746,11

*Dónde:*

*CP: Climatológica Principal, CO: Climatológica ordinaria*



**Figura 6-1. Localización de las estaciones climatológicas de la cuenca en estudio.**  
**Quebrada Casirba**

Para esta caracterización es necesario establecer periodos comunes de las estaciones identificadas, el cual en la mayoría de los parámetros es de 1996-2017. A continuación en la **Tabla 6-2** se presenta dichos periodos de registro de cada estación. Aunque la estación Tamara tiene registros de evapotranspiración, estos no fueron tomados en cuenta debido a que presenta demasiados vacíos e inconsistencias en sus datos.

**Tabla 6-2.** Características de las estaciones climatológicas

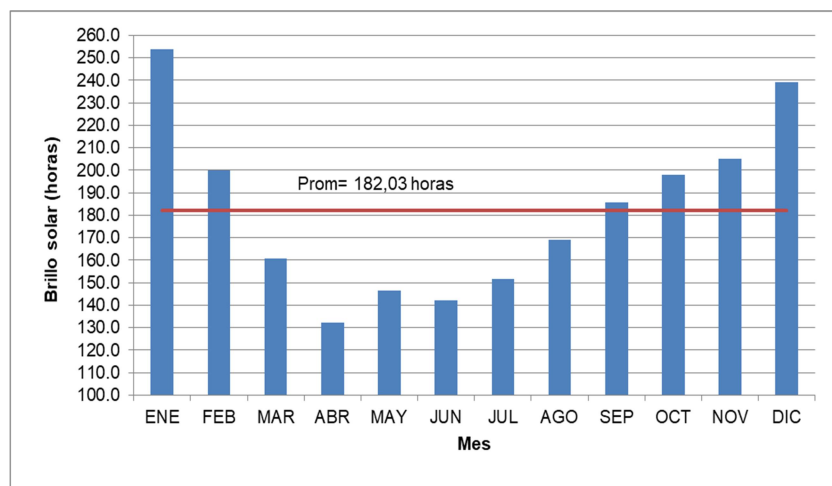
PARÁMETROS		ESTACIONES IDEAM		PERIODO COMÚN
		36015010_Paz Ariporo	35235020_Tamara	
Brillo Solar	Hr	1996-2017	-	-
Evaporación	mms	1996-2016	1996-2016	-
Humedad Relativa	%	1996-2017	1996-2017	1996-2017
Nubosidad	Octas	1996-2016	1997-2016	1997-2016
Punto de Rocío	°C	1996-2017	1996-2017	1996-2017
Temperatura media	°C	1996-2017	1996-2017	1996-2017
Temperatura máxima	°C	2006-2017	2006-2017	2006-2017
Temperatura mínima	°C	1998-2017	2006-2017	2006-2017
Tensión Vapor	Mb	1996-2017	1996-2017	1996-2017
Velocidad del viento	m/s	1996-2012	-	-

## 6.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS

A continuación se realiza el análisis de cada uno de los parámetros registrados por las estaciones Paz de Ariporo y Tamara.

### 6.2.1 Brillo solar

Este parámetro solo está registrado por la estación Paz de Ariporo y cuenta con valores de brillo solar para el periodo 1996-2017 como se presenta en la **Tabla 6-3**, con valores por encima del promedio en el periodo septiembre-febrero, evidenciando un comportamiento monomodal. Como observa en la **Figura 6-2**, el mayor brillo solar se presenta en el mes de enero con un valor de 254,03 horas y el mes que presenta el menor número de horas de brillo solar es abril. El promedio se encuentra en 182,03 horas, correspondiente a un valor anual de 2184 horas.



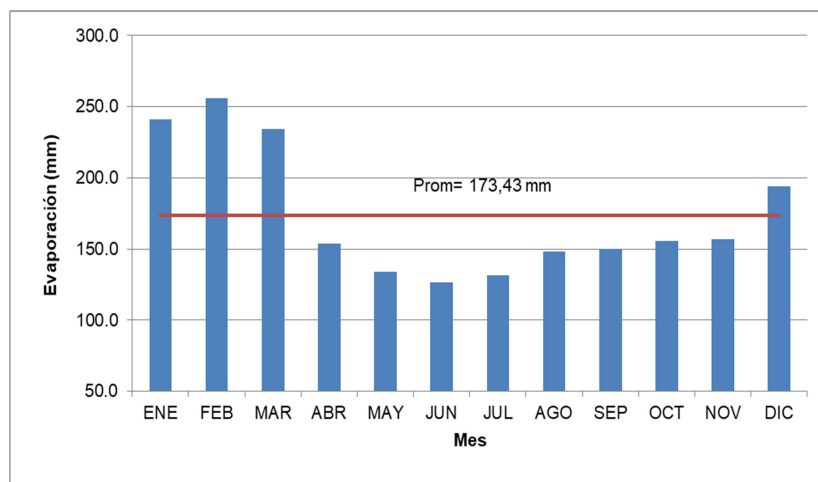
**Figura 6-2.** Distribución temporal del brillo solar – Estación Paz de Ariporo

**Tabla 6-3.** Distribución temporal del brillo solar (horas). Estación Paz de Ariporo

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	254.03	200.16	160.70	132.32	146.30	142.18	151.68	168.98	185.84	197.87	205.23	239.12	182.03

## 6.2.2 Evaporación

La evaporación media en la estación Paz de Ariporo para el periodo 1996-2016 como se presenta en la **Tabla 6-4** es de 173,43 mm, con valores de evaporación por encima del promedio en el periodo diciembre a marzo, siendo febrero el mes con mayor evaporación registrada con un valor de 155,81 mm y junio el de menor evaporación con un valor de 126,28 mm. En la **Figura 6-3**, se presenta la distribución temporal de este parámetro.



**Figura 6-3.** Distribución temporal de evaporación – Estación Paz de Ariporo

**Tabla 6-4.** Distribución temporal de evaporación (mm). Estación Paz de Ariporo

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	241.11	255.81	234.43	154.00	133.70	126.28	131.78	147.95	150.27	155.49	156.64	193.72	173.43

### 6.2.3 Humedad Relativa

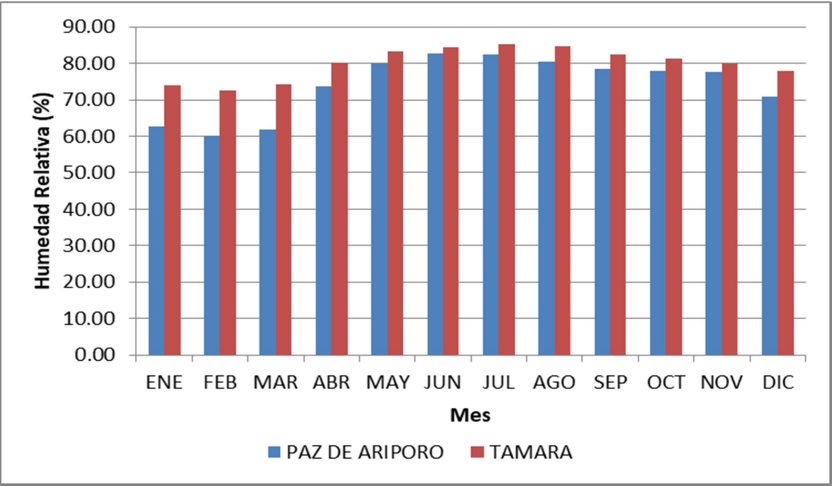
Para este parámetro se analizan las dos estaciones (Paz de Ariporo y Tamara) como se presenta en la **Figura 6-4** para el periodo común 1996-2017. En la **Tabla 6-5**, se presentan los valores asociados a cada estación.

La humedad relativa media multianual en la estación Paz de Ariporo es de 74,05% con valores por encima del promedio entre los meses de mayo a noviembre, siendo junio el mes con mayor humedad relativa con un valor de 82,82 % y febrero el mes de menor humedad relativa con un valor de 60,05 %.

La humedad relativa media multianual en la estación Tamara es de 79,97% con valores por encima del promedio entre los meses de abril a noviembre, siendo julio el mes con mayor



humedad relativa con un valor de 85,33 % y febrero el mes de menor humedad relativa con un valor de 72,53 %.



**Figura 6-4.** Distribución mensual de la Humedad Relativa

**Tabla 6-5.** Distribución mensual de la Humedad Relativa (%).

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	62.62	60.05	61.91	73.73	79.86	82.82	82.45	80.50	78.41	77.82	77.50	70.95	74.05
TAMARA	73.94	72.53	74.12	80.06	83.19	84.43	85.33	84.67	82.43	81.29	79.86	77.86	79.97

### 6.2.4 Nubosidad

Para este parámetro se analizan las dos estaciones (Paz de Ariporo y Tamara) como se presenta en la **Figura 6-5** para el periodo común 1997-2016. En la **Tabla 6-6**, se presentan los valores asociados a cada estación.

De acuerdo a estándares (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014), la nubosidad se clasifica de acuerdo a los siguientes rangos:

N es igual 0 el cielo está despejado.

N es mayor o igual que 1 y menor o igual que 3 el cielo es poco nublado.

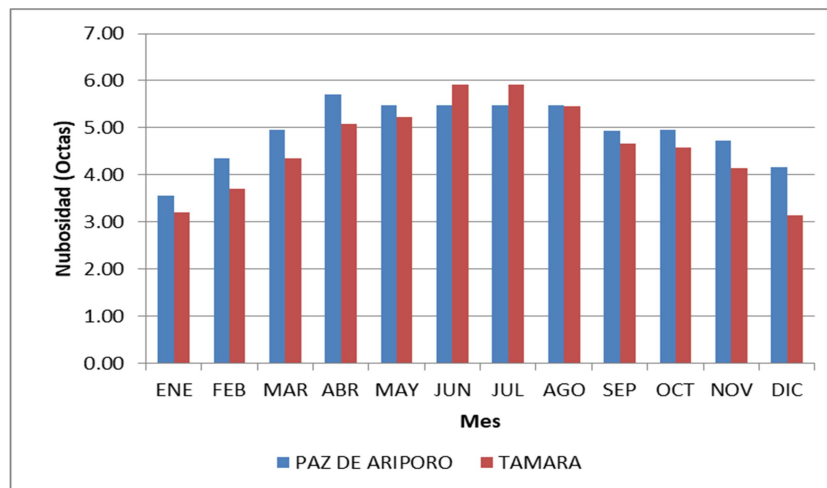
N es mayor o igual que 4 y menor o igual que 5 el cielo es nublado.

N es mayor o igual que 6 y menor o igual que 7 el cielo es muy nublado.

N es igual a 8 el cielo es cubierto.

La estación Paz de Aripuro, para el periodo en estudio abril es el mes con mayor nubosidad con un valor de 5,7 octas y enero el de menor precipitación con un valor de 3,5 octas, siendo su promedio anual 5 octas y de acuerdo a los rangos, se clasifica como una zona nublada.

La estación Tamara, para el periodo en estudio junio y julio son los meses con mayor nubosidad con un valor de 5,9 octas y enero el de menor precipitación con un valor de 3,2 octas, siendo su promedio anual 5 octas y de acuerdo a los rangos, se clasifica como una zona nublada.



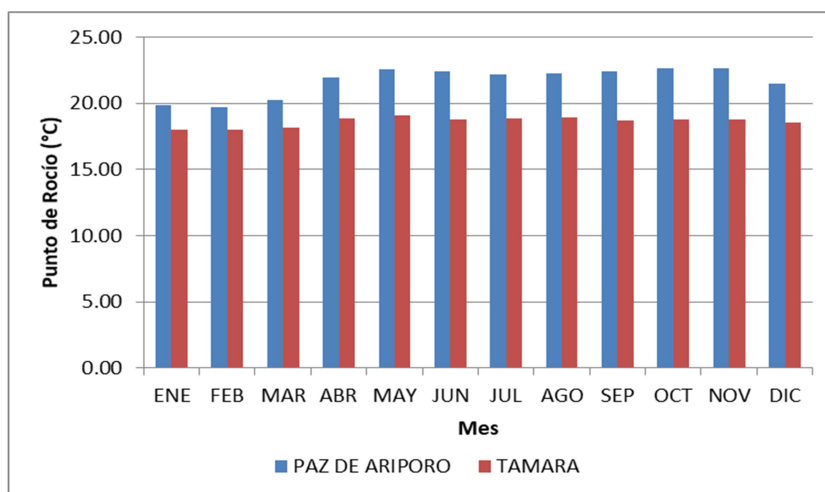
**Figura 6-5.** Distribución mensual de la Nubosidad

**Tabla 6-6.** Distribución mensual de la Nubosidad (octas).

ESTACION+C14:N16	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	3.55	4.35	4.95	5.70	5.47	5.47	5.47	5.47	4.94	4.95	4.74	4.17	5
TAMARA	3.20	3.71	4.36	5.08	5.23	5.92	5.92	5.46	4.67	4.58	4.15	3.14	5

### 6.2.5 Punto de Rocío

La distribución mensual de este parámetro se presenta en la **Figura 6-6** para el periodo común 1996-2017 en las estaciones Paz de Ariporo y Tamara. Para las dos estaciones los meses de mayor registro son de abril a noviembre y los de menor registro son diciembre a marzo. El promedio medio multianual para la estación Paz de Ariporo es de 21,70 °C y para la estación Tamara es 18,61 °C.



**Figura 6-6.** Distribución mensual de punto de rocío

**Tabla 6-7.** Distribución mensual de punto de rocío (°C).

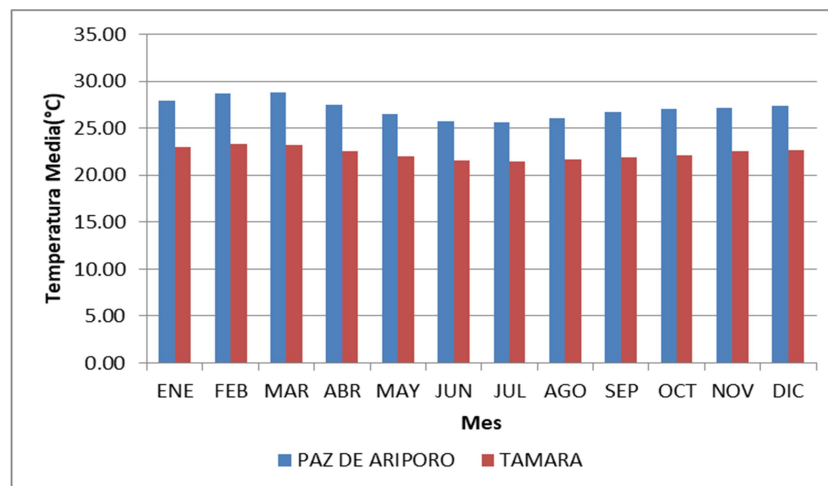
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	19.86	19.74	20.25	21.95	22.58	22.42	22.20	22.22	22.44	22.61	22.65	21.47	21.70
TAMARA	18.03	17.99	18.12	18.84	19.06	18.79	18.84	18.90	18.66	18.75	18.80	18.56	18.61

### 6.2.6 Temperatura Media

Para este parámetro se analizan las dos estaciones (Paz de Ariporo y Tamara) como se presenta en la **Figura 6-7** para el periodo común 1996-2017. En la **Tabla 6-8**, se presentan los valores asociados a cada estación.

La temperatura media en la estación Paz de Ariporo es de 27,09 °C. Los periodos diciembre a abril presentan valores por encima del promedio, siendo marzo el mes con mayor temperatura registrada con un valor de 28,82 °C y julio el mes con menor temperatura con un valor de 25,57 °C.

La temperatura media en la estación Tamara es de 22,32 °C. Los periodos noviembre a abril presentan valores por encima del promedio, siendo febrero el mes con mayor temperatura registrada con un valor de 23,35°C y julio el mes con menor temperatura con un valor de 21,44°C.



**Figura 6-7.** Distribución mensual de la Temperatura Media

**Tabla 6-8.** Distribución mensual de la Temperatura Media (°C).

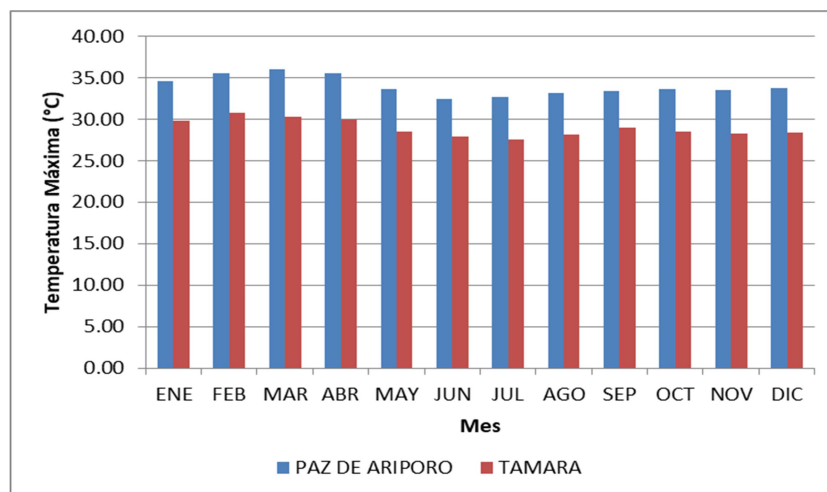
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	27.96	28.69	28.82	27.45	26.51	25.73	25.57	26.10	26.70	27.01	27.12	27.39	27.09
TAMARA	22.99	23.35	23.18	22.54	22.06	21.56	21.44	21.64	21.85	22.16	22.51	22.63	22.32

### 6.2.7 Temperatura Máxima

Para este parámetro se analizan las dos estaciones (Paz de Ariporo y Tamara) como se presenta en la **Figura 6-8** para el periodo común 2006-2017. En la **Tabla 6-9**, se presentan los valores asociados a cada estación.

La temperatura máxima en la estación Paz de Ariporo es de 28,91 °C. Los periodos enero a abril presentan valores por encima del promedio, siendo marzo el mes con mayor temperatura máxima registrada con un valor de 35,98 °C y junio el mes con menor temperatura máxima con un valor de 32,45°C.

La temperatura máxima en la estación Tamara es de 22,32 °C. Los periodos enero a abril presentan valores por encima del promedio, siendo febrero el mes con mayor temperatura máxima registrada con un valor de 30,72°C y julio el mes con menor temperatura máxima con un valor de 27,57°C.



**Figura 6-8.** Distribución mensual de la Temperatura Máxima

**Tabla 6-9.** Distribución mensual de la Temperatura Máxima (°C).

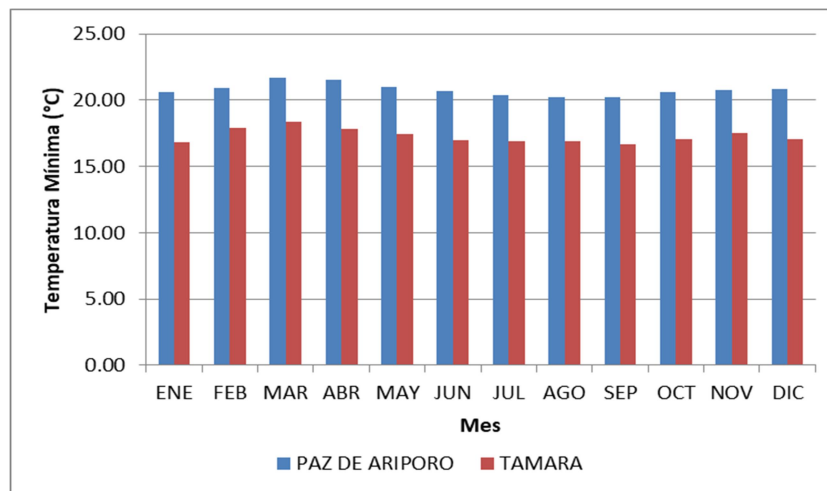
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	34.53	35.53	35.98	35.52	33.63	32.45	32.62	33.12	33.42	33.58	33.54	33.80	33.98
TAMARA	29.81	30.72	30.23	29.97	28.55	27.90	27.57	28.09	28.92	28.50	28.31	28.35	28.91

## 6.2.8 Temperatura Mínima

Para este parámetro se analizan las dos estaciones (Paz de Ariporo y Tamara) como se presenta en la **Figura 6-9** para el periodo común 2006-2017. En la **Tabla 6-10**, se presentan los valores asociados a cada estación.

La temperatura mínima en la estación Paz de Ariporo es de 28,91 °C. Los periodos enero a mayo presentan valores por encima del promedio, siendo febrero el mes con mayor temperatura mínima registrada con un valor de 20,92 °C y septiembre el mes con menor temperatura mínima con un valor de 20,22°C.

La temperatura mínima en la estación Tamara es de 22,32 °C. Los periodos enero a abril y octubre presentan valores por encima del promedio, siendo febrero el mes con mayor temperatura mínima registrada con un valor de 17,94°C y agosto el mes con menor temperatura mínima con un valor de 16,92°C.



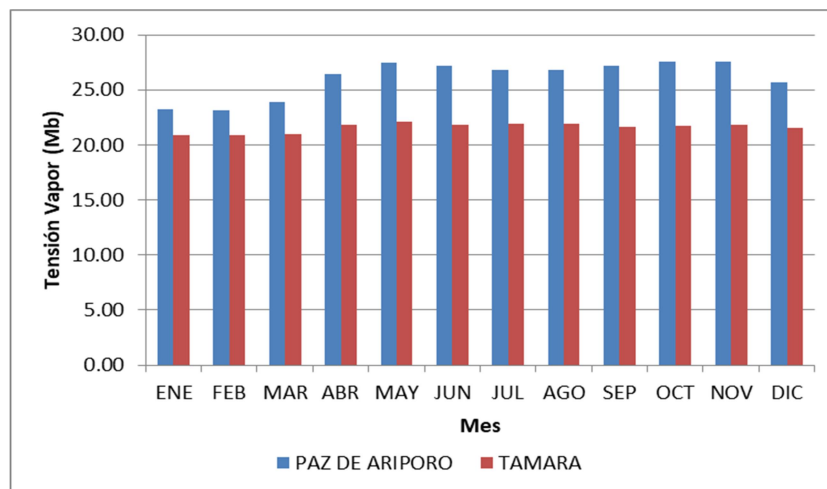
**Figura 6-9.** Distribución mensual de la Temperatura Mínima

**Tabla 6-10.** Distribución mensual de la Temperatura Mínima (°C).

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	20.60	20.92	21.73	21.52	21.00	20.67	20.38	20.23	20.22	20.63	20.76	20.82	20.79
TAMARA	16.86	17.94	18.36	17.82	17.47	16.95	16.88	16.92	16.69	17.10	17.53	17.07	17.30

### 6.2.9 Tensión Vapor

La distribución mensual de este parámetro se presenta en la **Figura 6-10** para el periodo común 1996-2017 en las estaciones Paz de Ariporo y Tamara. Para las dos estaciones los meses de mayor registro son de abril a noviembre y los de menor registro son diciembre a marzo. El promedio medio multianual para la estación Paz de Ariporo es de 26,09 Mb y para la estación Tamara es 21,59 Mb.

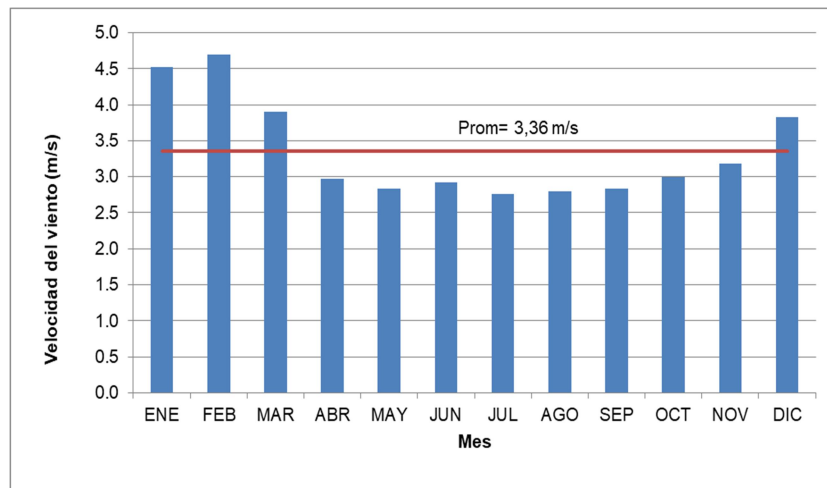
**Figura 6-10.** Distribución mensual de la Tensión Vapor**Tabla 6-11.** Distribución mensual de la Tensión Vapor (Mb).

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	23.29	23.12	23.90	26.46	27.44	27.18	26.81	26.85	27.24	27.52	27.58	25.68	26.09
TAMARA	20.86	20.86	21.03	21.86	22.16	21.79	21.88	21.93	21.66	21.76	21.81	21.51	21.59

### 6.2.10 Velocidad del viento

Para este parámetro se utilizó solo la información suministrada por la estación Paz de Ariporo, dado que es la estación más cercana al área de estudio con registros de velocidad.

La estación Paz de Ariporo cuenta con registros en el periodo 1996-2012 reportando una velocidad promedio de viento de 3,36 m/s, como se muestra en la **Figura 6-11**. Los vientos más fuertes se presentan en enero, febrero, marzo y diciembre, siendo febrero el mes de mayor registro con un valor de 4.70 m/s y el más bajo en julio con 2,76 m/s.



**Figura 6-11.** Distribución mensual de velocidad (m/s)

**Tabla 6-12.** Distribución mensual de velocidad (m/s).

ESTACION+C14:N16	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
PAZ DE ARIPORO	4.53	4.70	3.90	2.97	2.84	2.92	2.76	2.80	2.84	3.00	3.18	3.83	3.36



## 7 MODELACIÓN HIDROLÓGICA

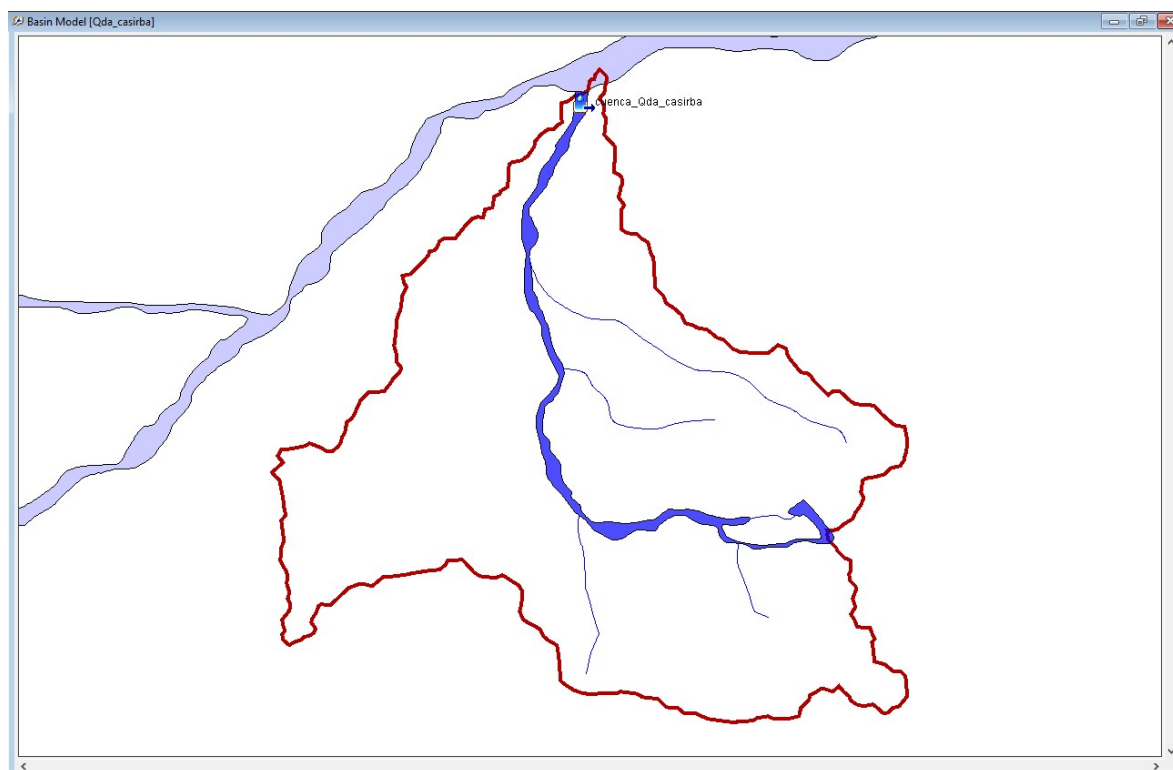
Esta modelación se realizó a partir del método del Hidrograma Unitario de la Oficina de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (Ven Te Chow D. M., 1994) y del método de bloques alternos empleando el paquete de cómputo HEC-HMS o Sistema de Modelación Hidrológica desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos junto con la herramienta de información geográfica ArcGis (ver **Figura 7-1**) y los parámetros descritos en el ítem 5. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA. Para esto, se presenta en la

**Tabla 7-1** un resumen de los datos de entrada para para la modelación.

El archivo de modelación se presenta en el ANEXO 6 Modelación Hidrológica.

**Tabla 7-1.** Datos de entrada modelo HEC-HMS

Parámetros	Cuenca Qda. Casirba
Área (km <sup>2</sup> )	<b>31,86</b>
Tc (min)	171
T lag	102,6
CNII (B)	57,4
CNII (C)	71,2
CNIII (C)	86
Q (m <sup>3</sup> /s) Tr 2,33 (años)	5,31
Q (m <sup>3</sup> /s) Tr 50 (años)	13,71
Q (m <sup>3</sup> /s) Tr 100 (años)	15,47



**Figura 7-1.** Modelo en HEC-HMS de la cuenca de la Qda Casirba

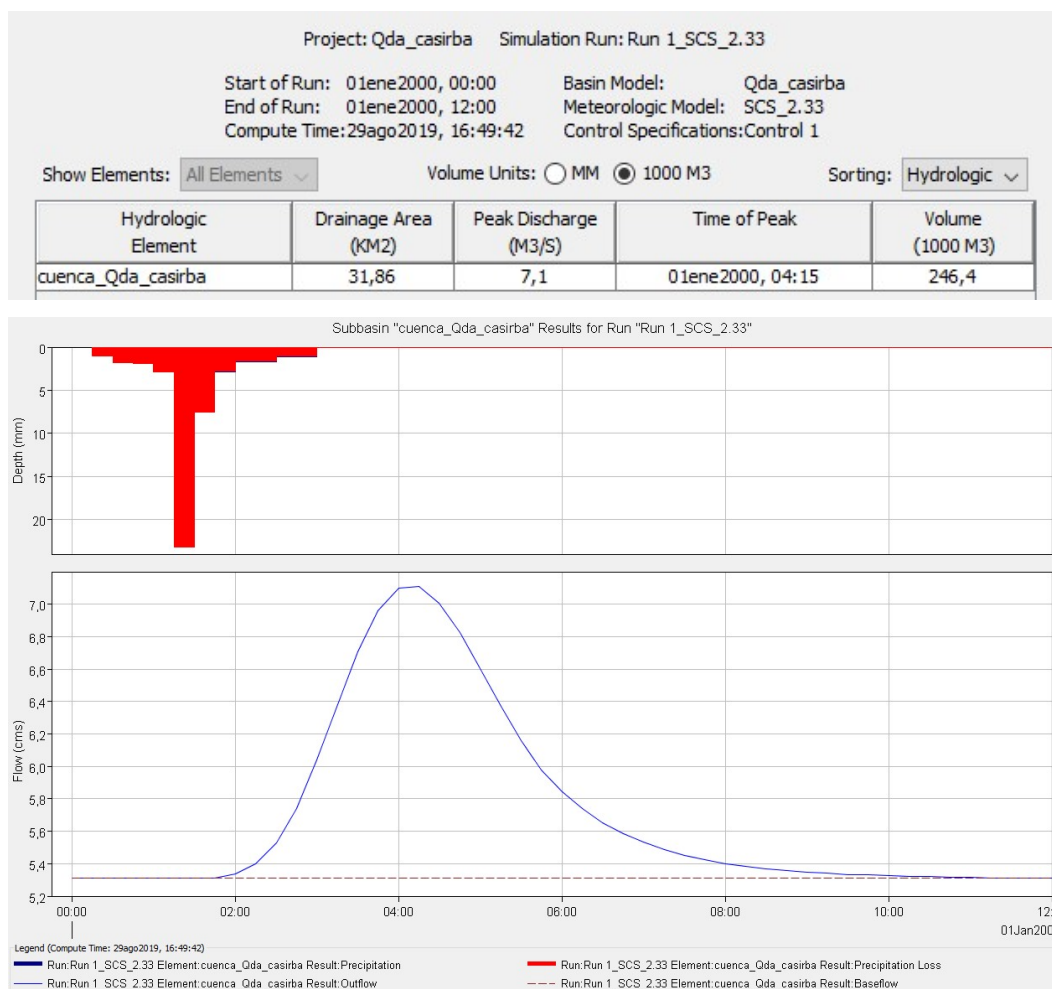
A continuación se presenta los resultados de los modelos desarrollados.

## **7.1 MODELO 1 (TR 2.33 CNII (B))**

Este modelo se presenta para dos escenarios teniendo en cuenta los hietogramas de precipitación para la metodología de SCS y la de bloques alternos, con un CNII para el grupo B de 57,4 y un periodo de retorno de 2,33 años. El resumen de los resultados se presentan en la **Tabla 7-2**.

### **7.1.1 Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 2,33 años.**

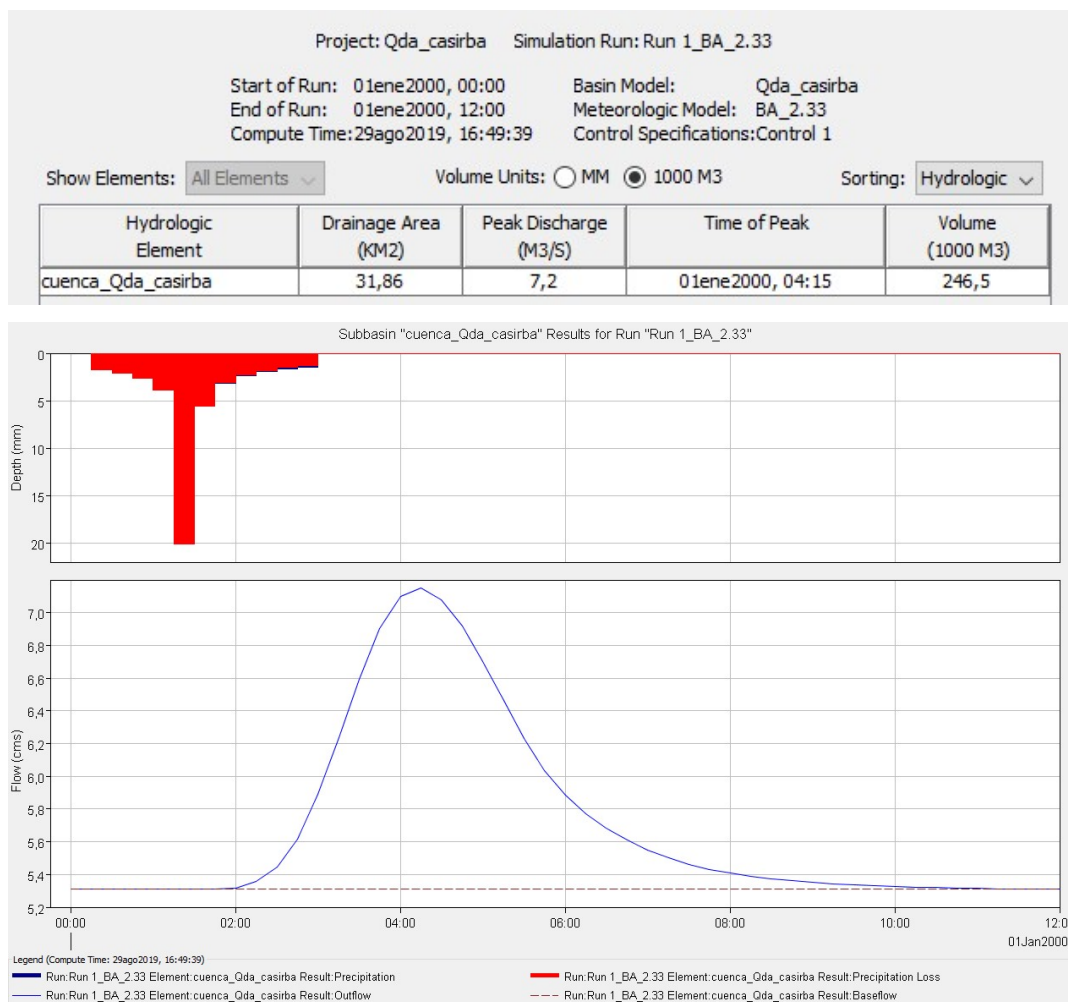
Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-2.** Modelo Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 2,33 años.

### 7.1.2 Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 2,33 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



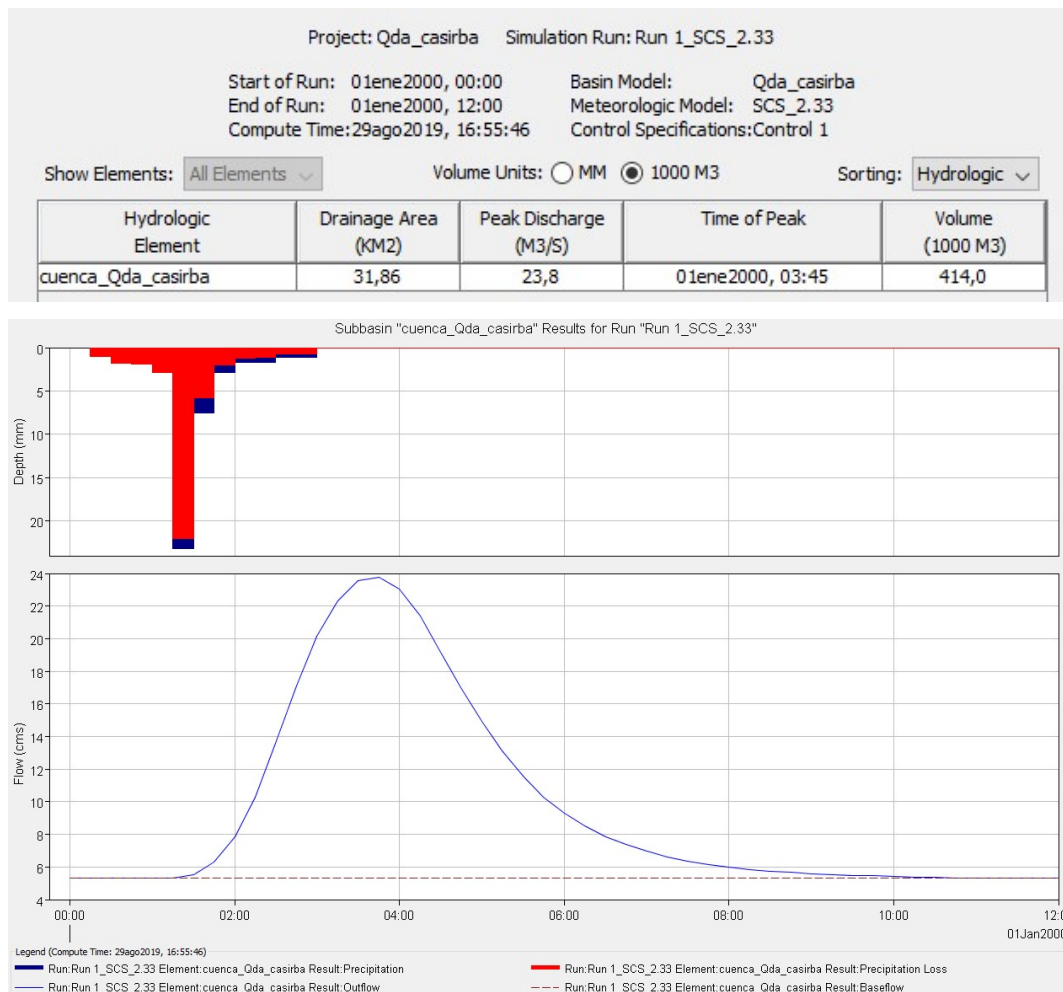
**Figura 7-3.** Modelo Metodología de BA, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 2,33 años.

## 7.2 MODELO 2 (TR 2.33 CNII (C))

Este modelo se presenta para dos escenarios teniendo en cuenta los hietogramas de precipitación para la metodología de SCS y la de bloques alternos, con un CNII para el grupo C de 71,2 y un periodo de retorno de 2,33 años. El resumen de los resultados se presentan en la **Tabla 7-2**.

### 7.2.1 Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 2,33 años.

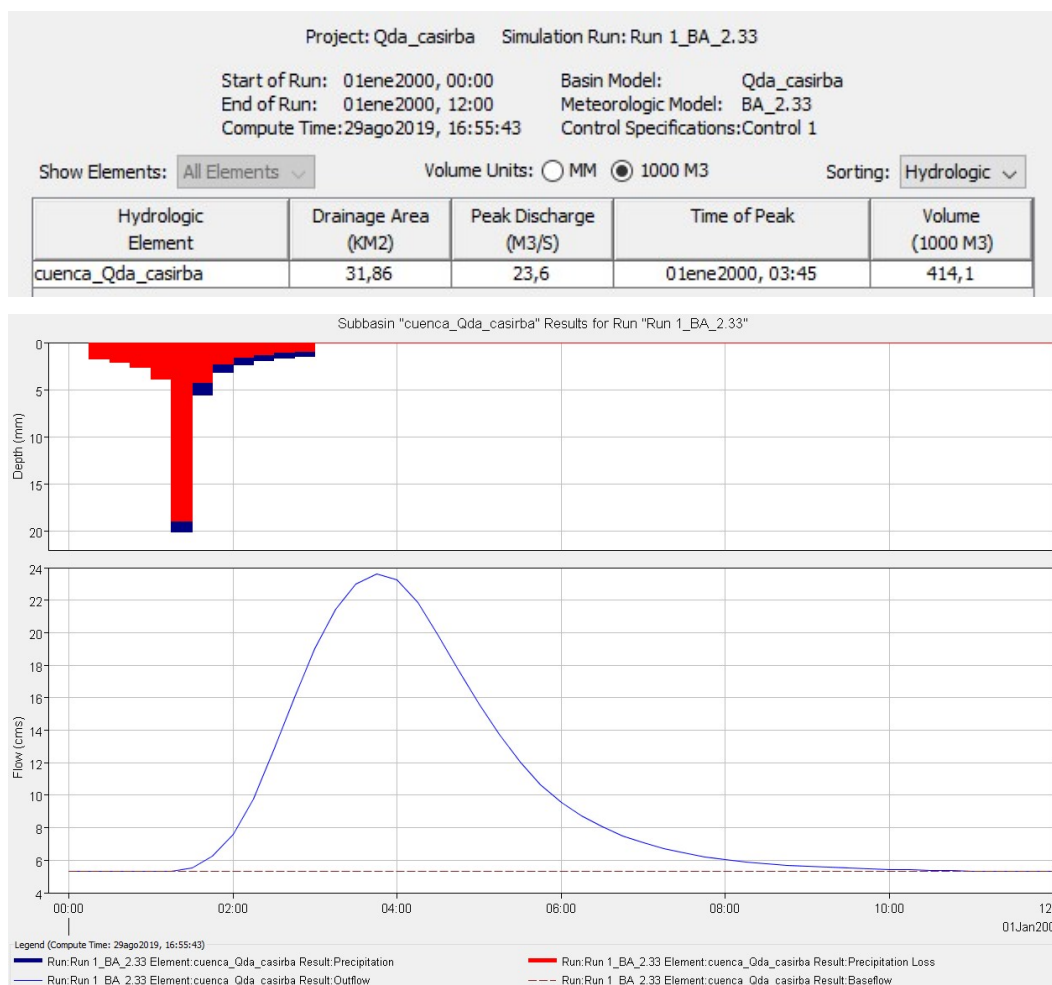
Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-4.** Modelo Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 2,33 años.

### 7.2.2 Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 2,33 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



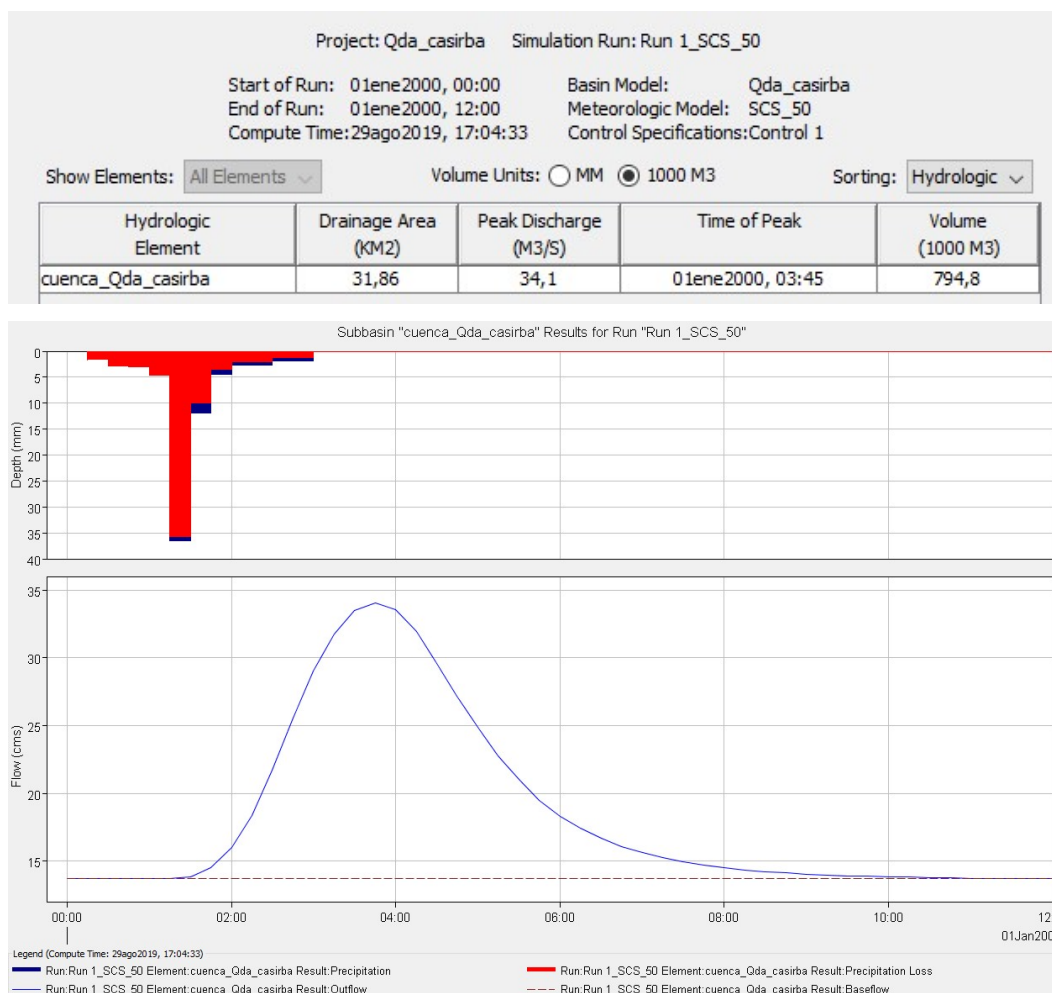
**Figura 7-5.** Modelo Metodología de BA, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 2,33 años.

### 7.3 MODELO 3 (TR 50 CNII (B))

Este modelo se presenta para dos escenarios teniendo en cuenta los hietogramas de precipitación para la metodología de SCS y la de bloques alternos, con un CNII para el grupo B de 57,4 y un periodo de retorno de 2,33 años. El resumen de los resultados se presentan en la **Tabla 7-2**.

#### 7.3.1 Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años.

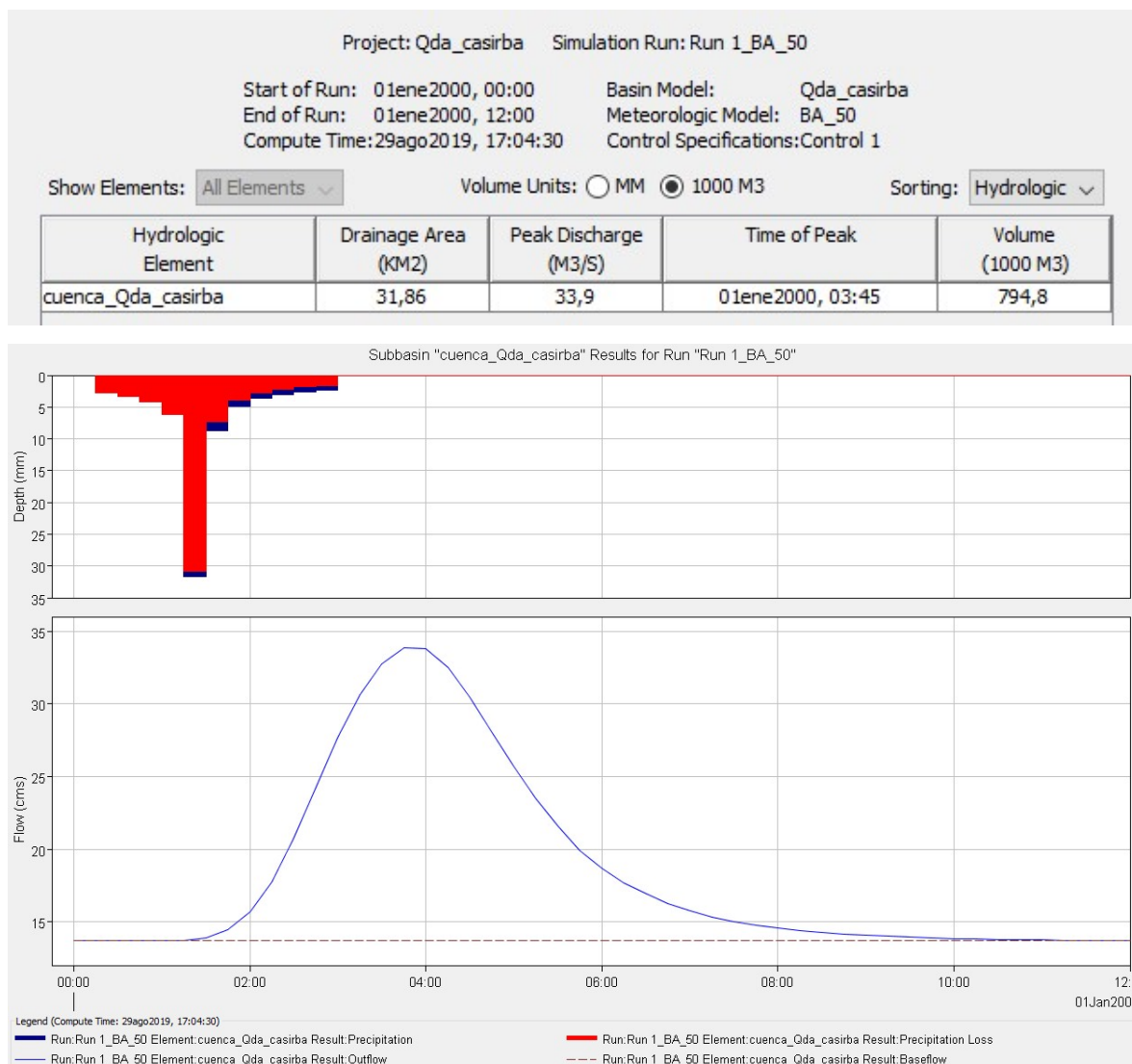
Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-6.** Modelo Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años.

### 7.3.2 Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-7.** Modelo Metodología de BA, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años.

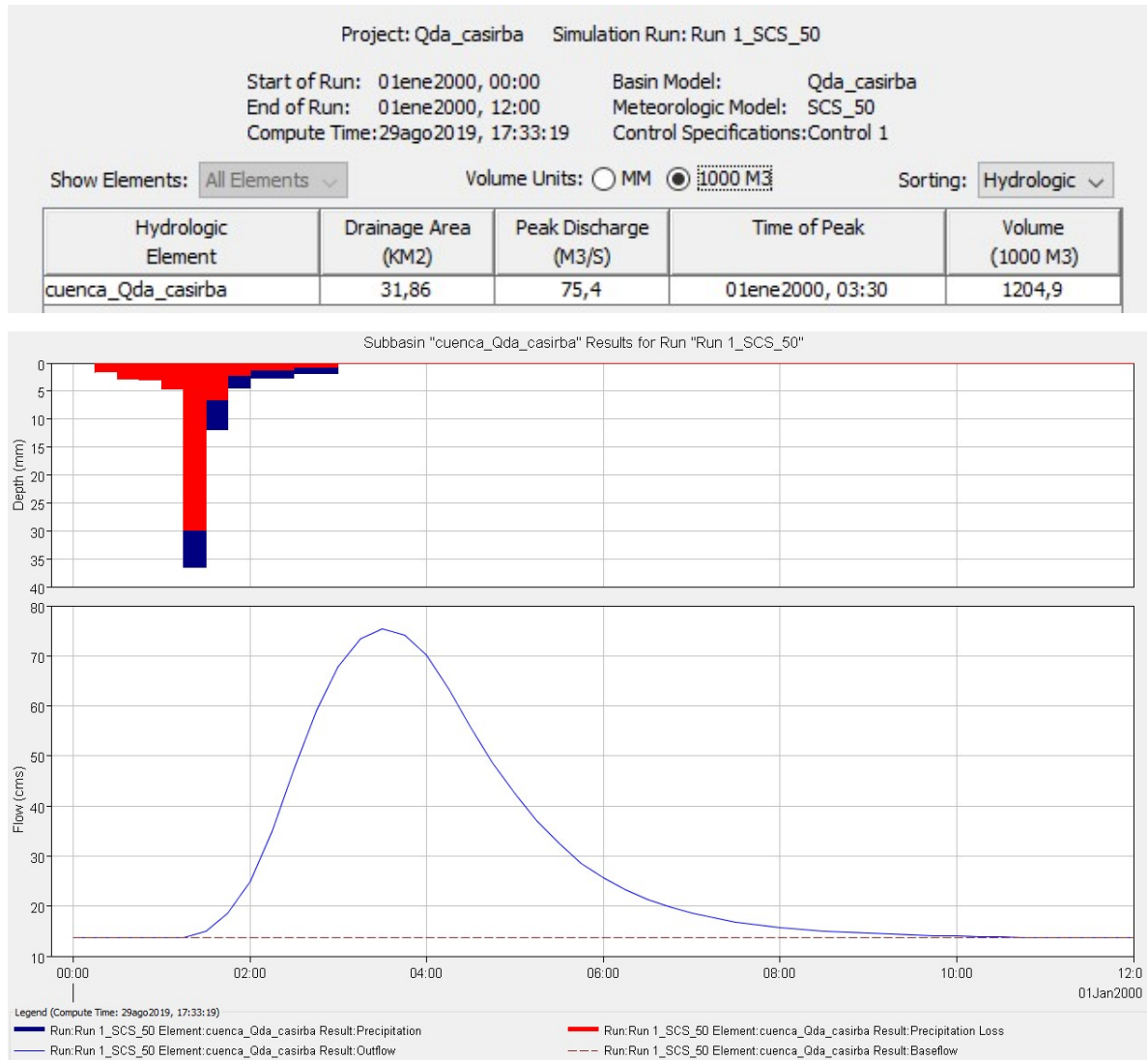
#### 7.4 MODELO 4 (TR 50 CNII (C))

Este modelo se presenta para dos escenarios teniendo en cuenta los hietogramas de precipitación para la metodología de SCS y la de bloques alternos, con un CNII para el grupo B de 57,4 y un periodo de retorno de 2,33 años. El resumen de los resultados se presentan en la **Tabla 7-2**.



#### 7.4.1 Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 50 años.

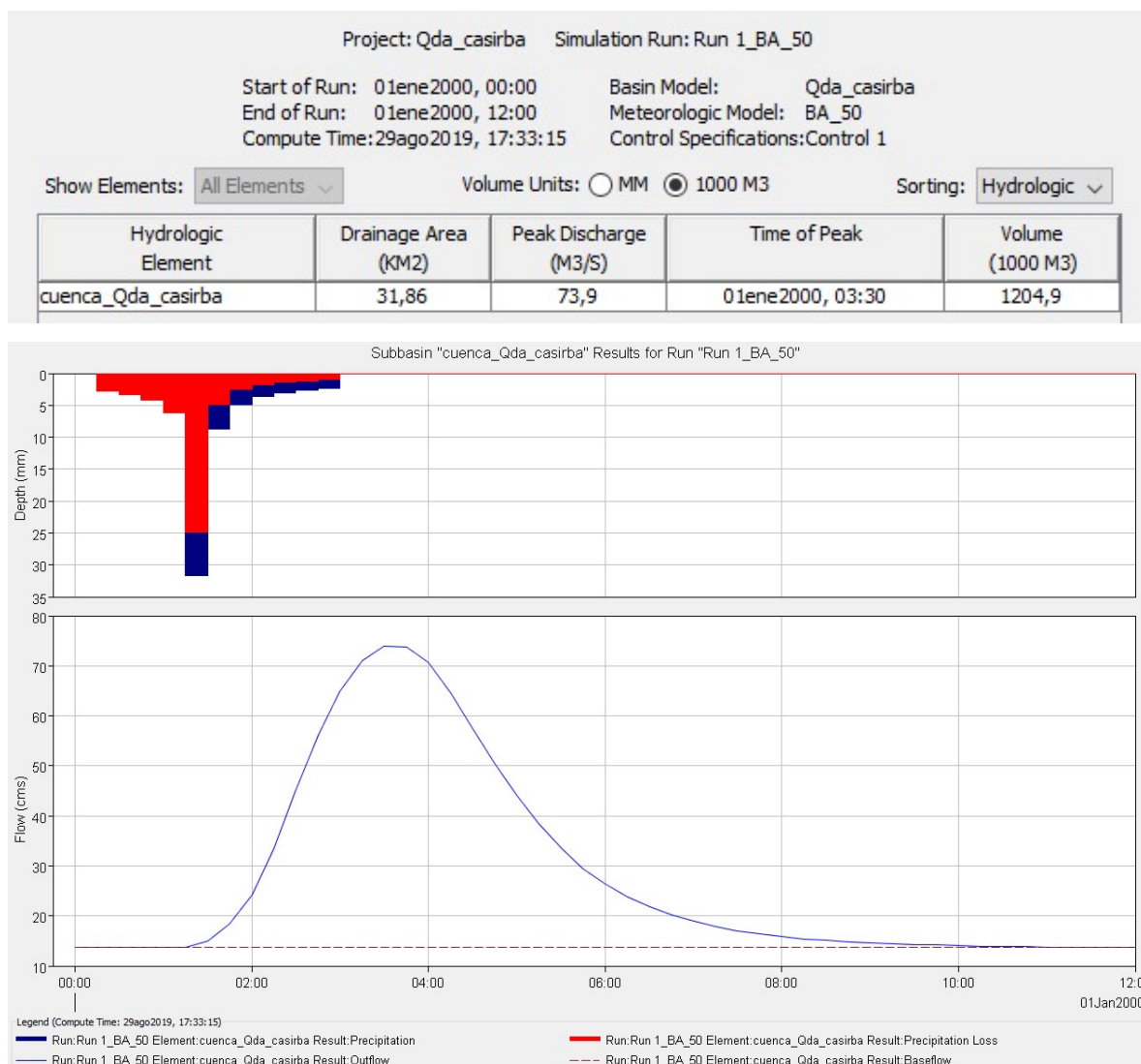
Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-8.** Modelo Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 50 años.

#### 7.4.2 Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 50 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



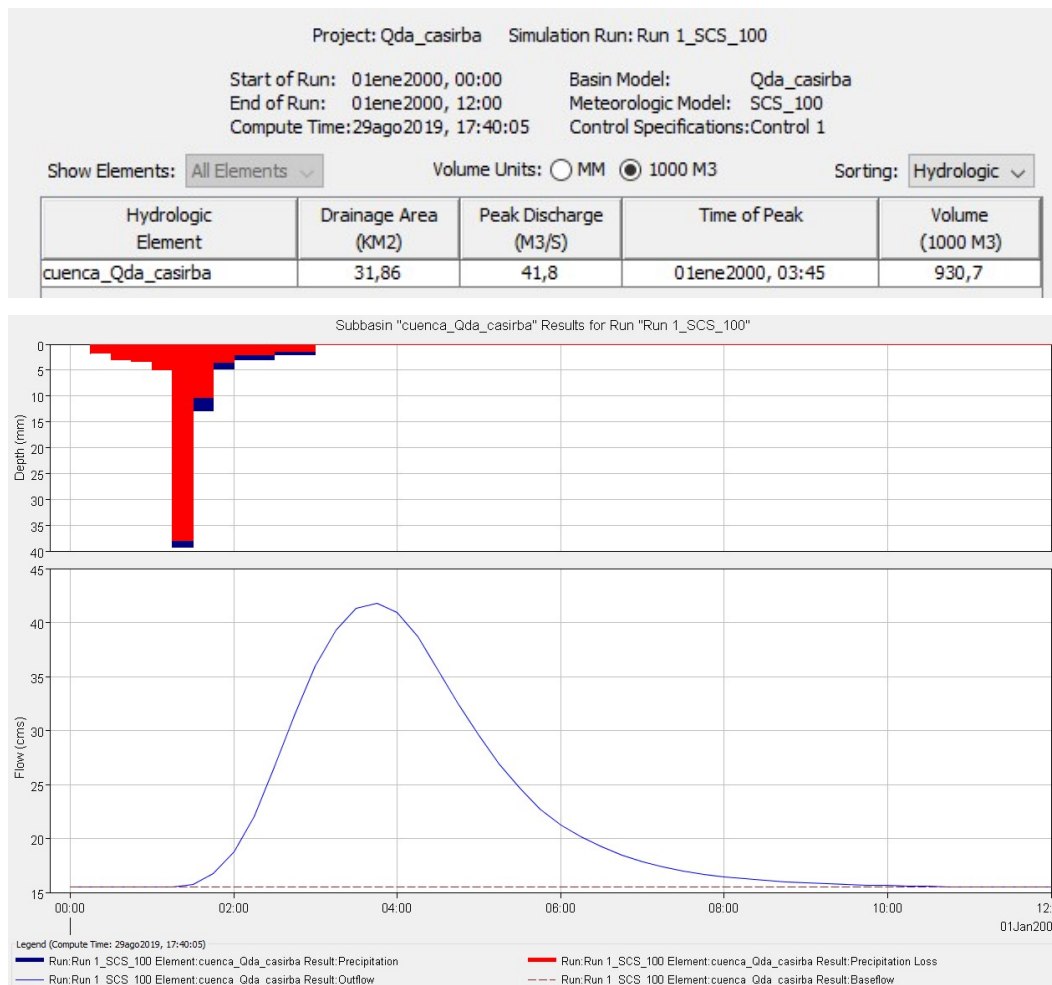
**Figura 7-9.** Modelo Metodología de BA, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 50 años.

## 7.5 MODELO 5 (TR 100 CNII (B))

Este modelo se presenta para dos escenarios teniendo en cuenta los hietogramas de precipitación para la metodología de SCS y la de bloques alternos, con un CNII para el grupo B de 57,4 y un periodo de retorno de 2,33 años. El resumen de los resultados se presentan en la **Tabla 7-2**.

### 7.5.1 Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 100 años.

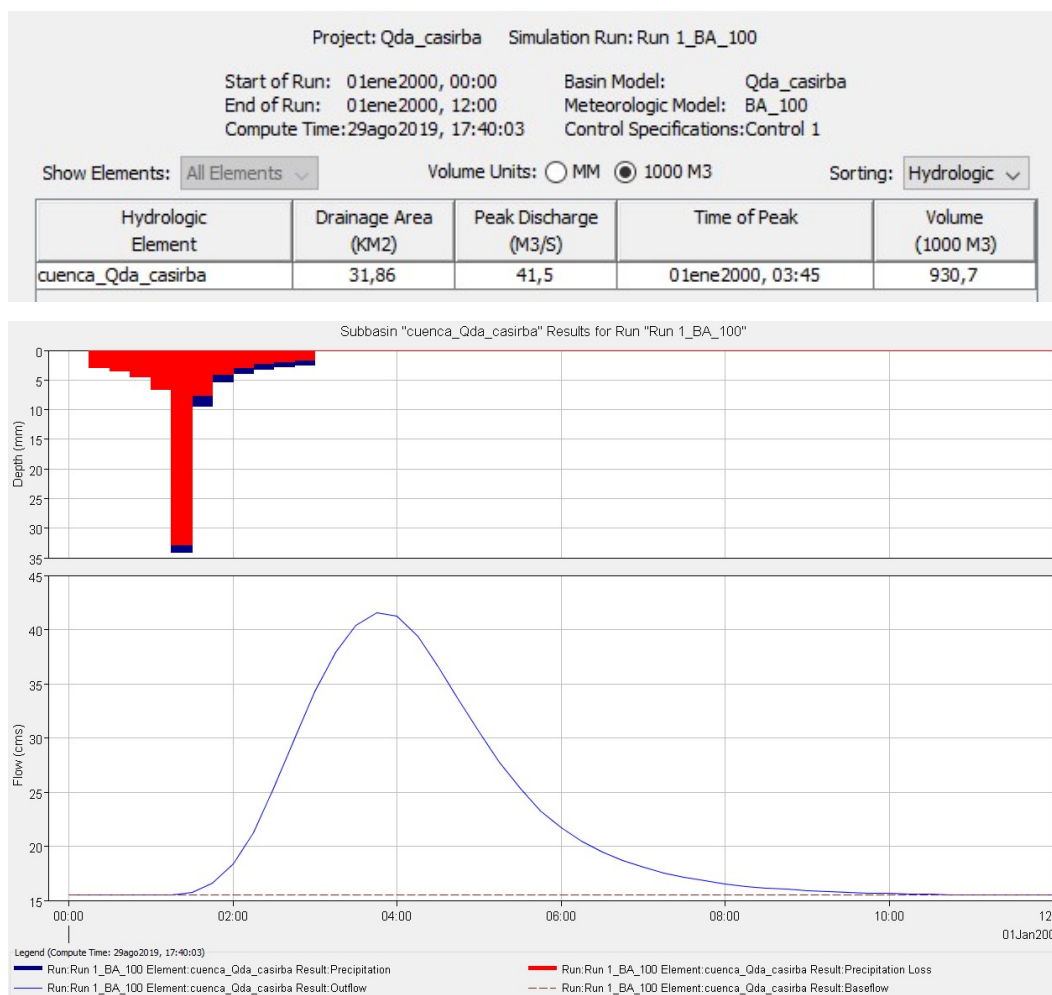
Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-10.** Modelo Metodología de SCS, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años.

### 7.5.2 Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 100 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



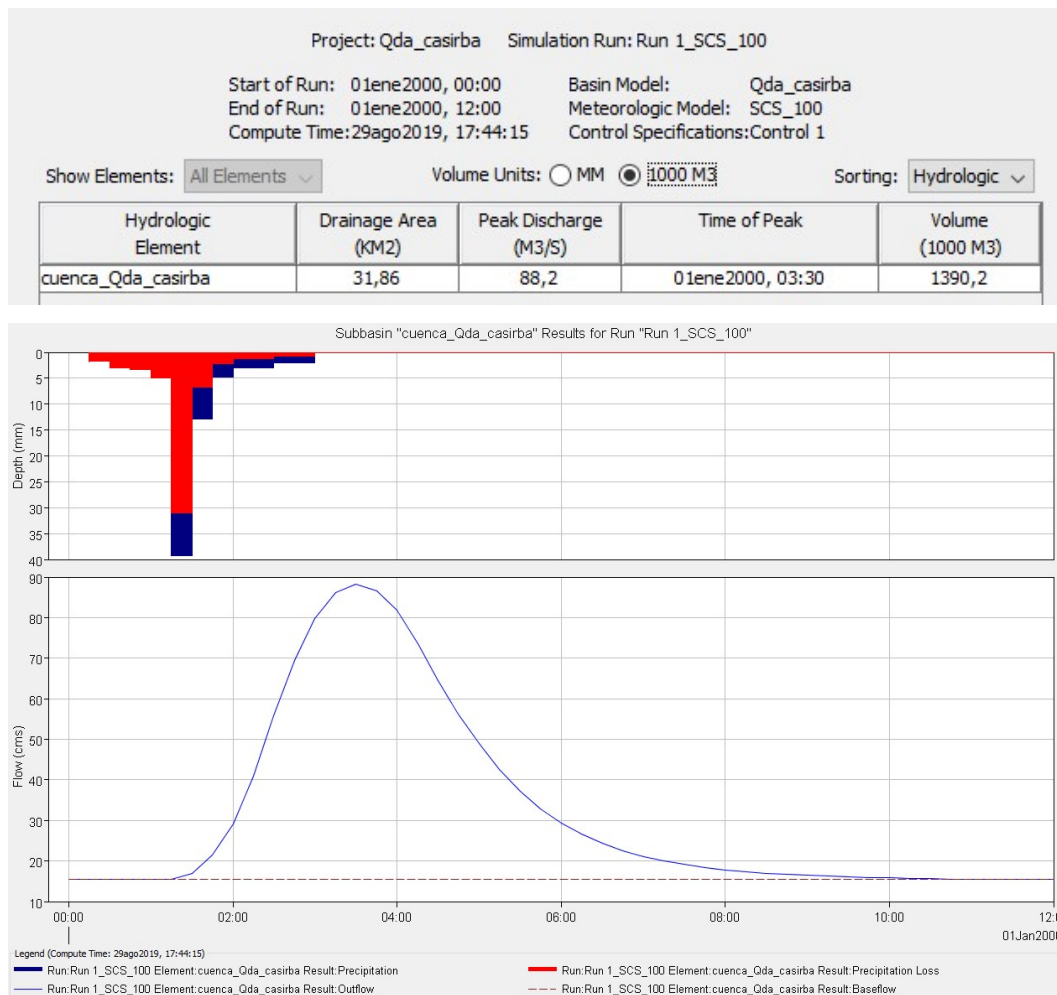
**Figura 7-11.** Modelo Metodología de BA, con CNII grupo B de 57,4 y Tr de 50 años.

## 7.6 MODELO 6 (TR 100 CNII (C))

Este modelo se presenta para dos escenarios teniendo en cuenta los hietogramas de precipitación para la metodología de SCS y la de bloques alternos, con un CNII para el grupo B de 57,4 y un periodo de retorno de 2,33 años. El resumen de los resultados se presentan en la **Tabla 7-2**.

### 7.6.1 Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 100 años.

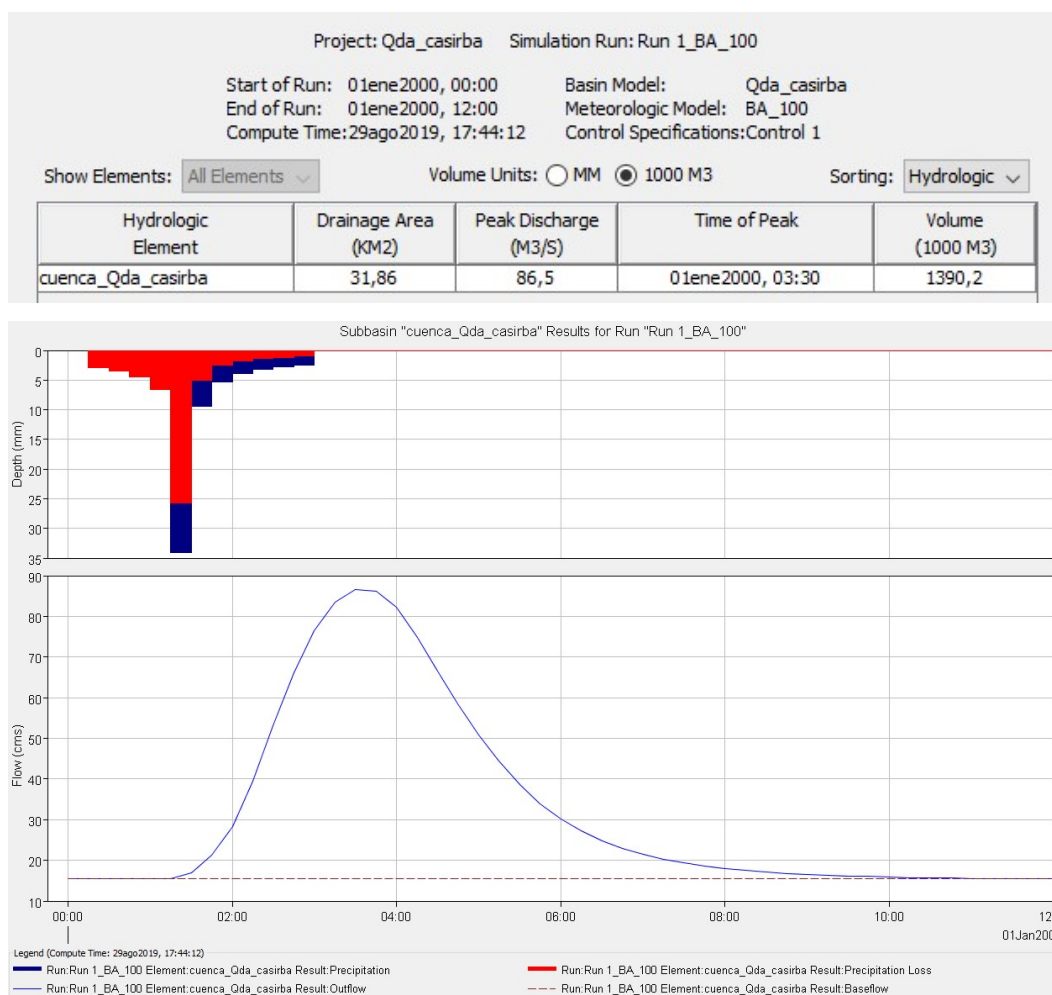
Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-12.** Modelo Metodología de SCS, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 100 años.

### 7.6.2 Metodología de bloques alternos (BA), con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 100 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



**Figura 7-13.** Modelo Metodología de BA, con CNII grupo C de 71,2 y Tr de 100 años.

En la **Tabla 7-2**, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los modelos anteriormente descritos, los cuales en todos el caudal pico se presenta entre las 03:30 y 04:00 horas.

**Tabla 7-2.** Resumen resultados modelos HEC-HMS, en condiciones promedio CNII.

Cuenca Qda. Casirba

Modelo	Tr (años)	CNII	Metodología	Caudal máximo (m³/s)	Volumen (m³)
--------	-----------	------	-------------	----------------------	--------------

Modelo	Tr (años)	CNII	Metodología	Caudal máximo (m³/s)	Volumen (m³)
Modelo 1	2,33	B	SCS	7,1	246,4
			Bloques Alternos	7,2	
Modelo 2	2,33	C	SCS	23,8	414,1
			Bloques Alternos	23,6	
Modelo 3	50	B	SCS	34,1	794,8
			Bloques Alternos	33,9	
Modelo 4	50	C	SCS	75,4	1204,9
			Bloques Alternos	73,9	
Modelo 5	100	B	SCS	41,8	930,7
			Bloques Alternos	41,5	
Modelo 6	100	C	SCS	88,2	1390,2
			Bloques Alternos	86,5	

## 7.7 MODELOS PARA CONDICIONES EXTREMAS (CNIII (C))

Los análisis hidráulicos del presente estudio se realizan para condiciones extremas, es decir, teniendo un CNIII de 86 para los periodos de retorno de 2.33, 50 y 100 años, dado que los caudales son más representativos con la zona en estudio. El resumen de resultados se presenta a continuación en la **Tabla 7-3**.

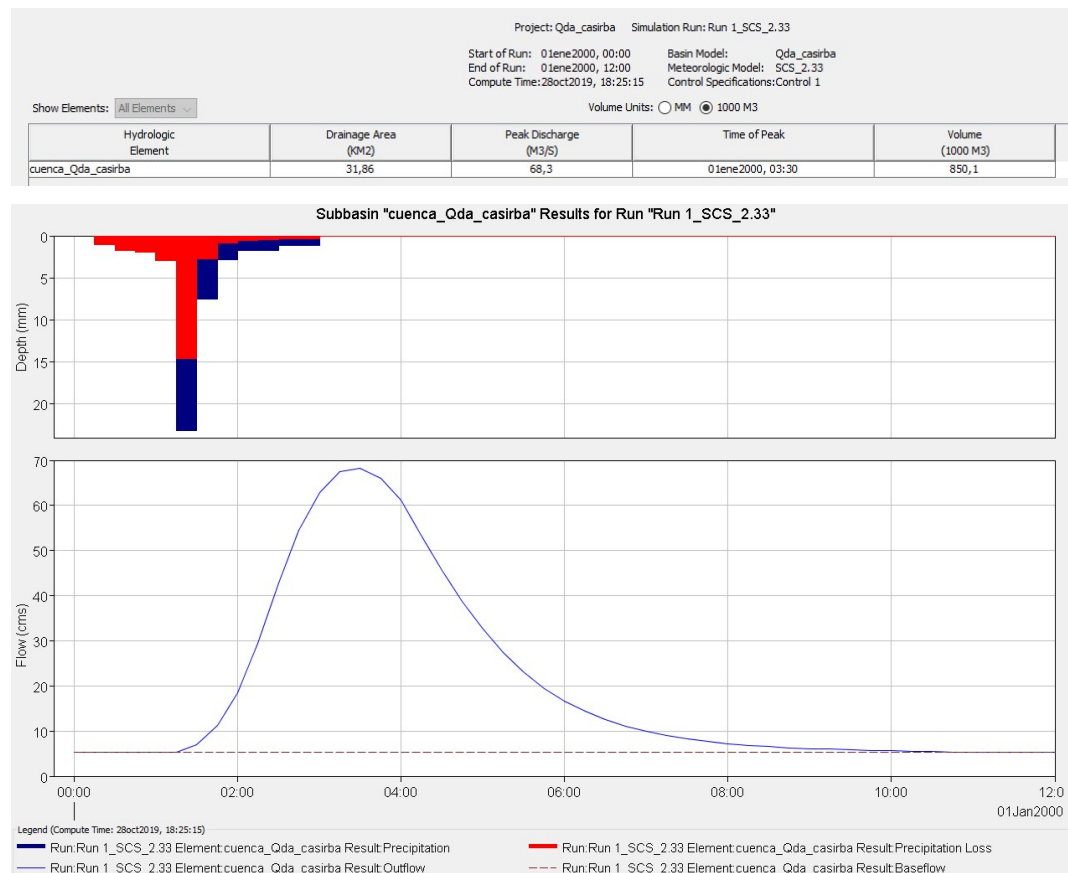
**Tabla 7-3.** Resumen resultados modelos HEC-HMS, en condiciones extremas CNIII.

Cuenca Qda. Casirba

Modelo	Tr (años)	Metodología	Caudal máximo (m³/s)	Volumen (m³)
Modelo 7	2,33	SCS	68,3	850,1
Modelo 8	50	SCS	149,2	1922,1
Modelo 9	100	SCS	167,6	2158,1

### 7.7.1 Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 2.33 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:

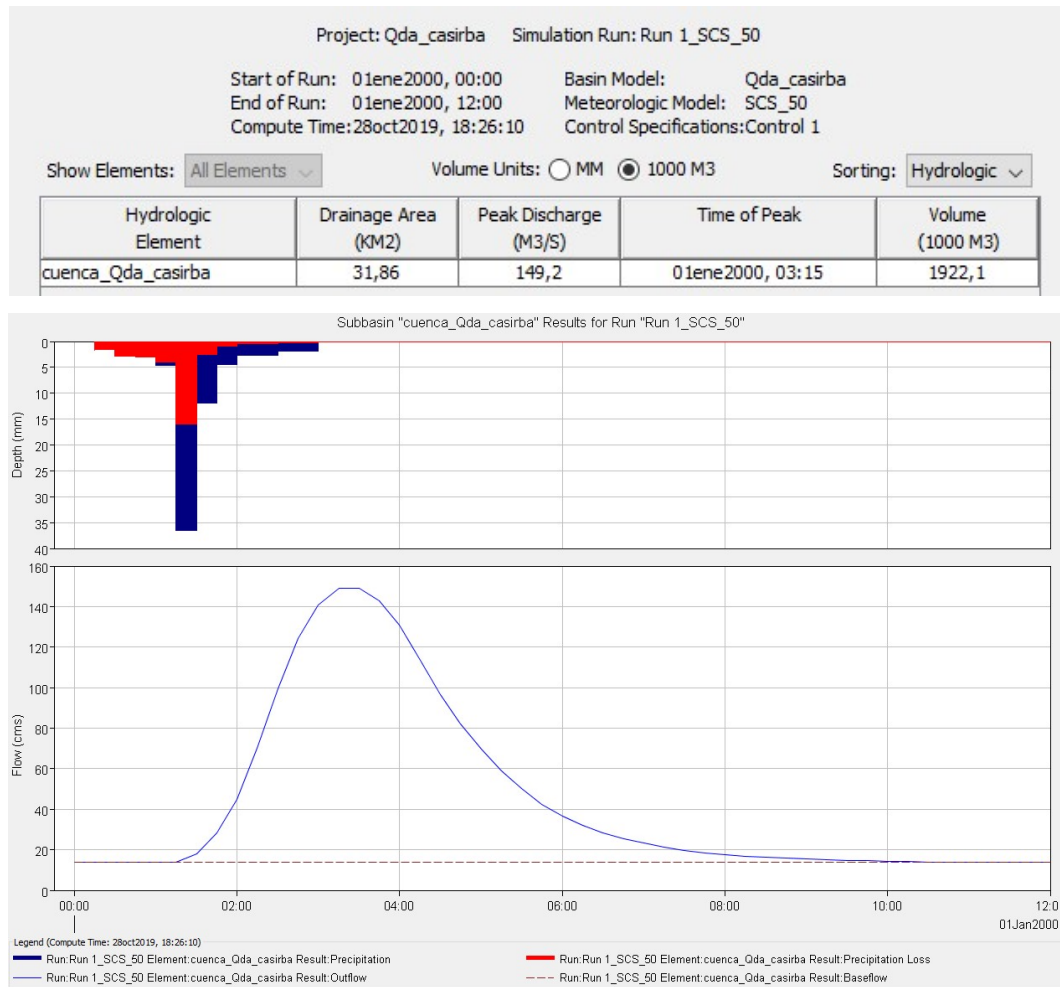


**Figura 7-14.** Modelo Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 2.33 años.

### 7.7.2 Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 50 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:

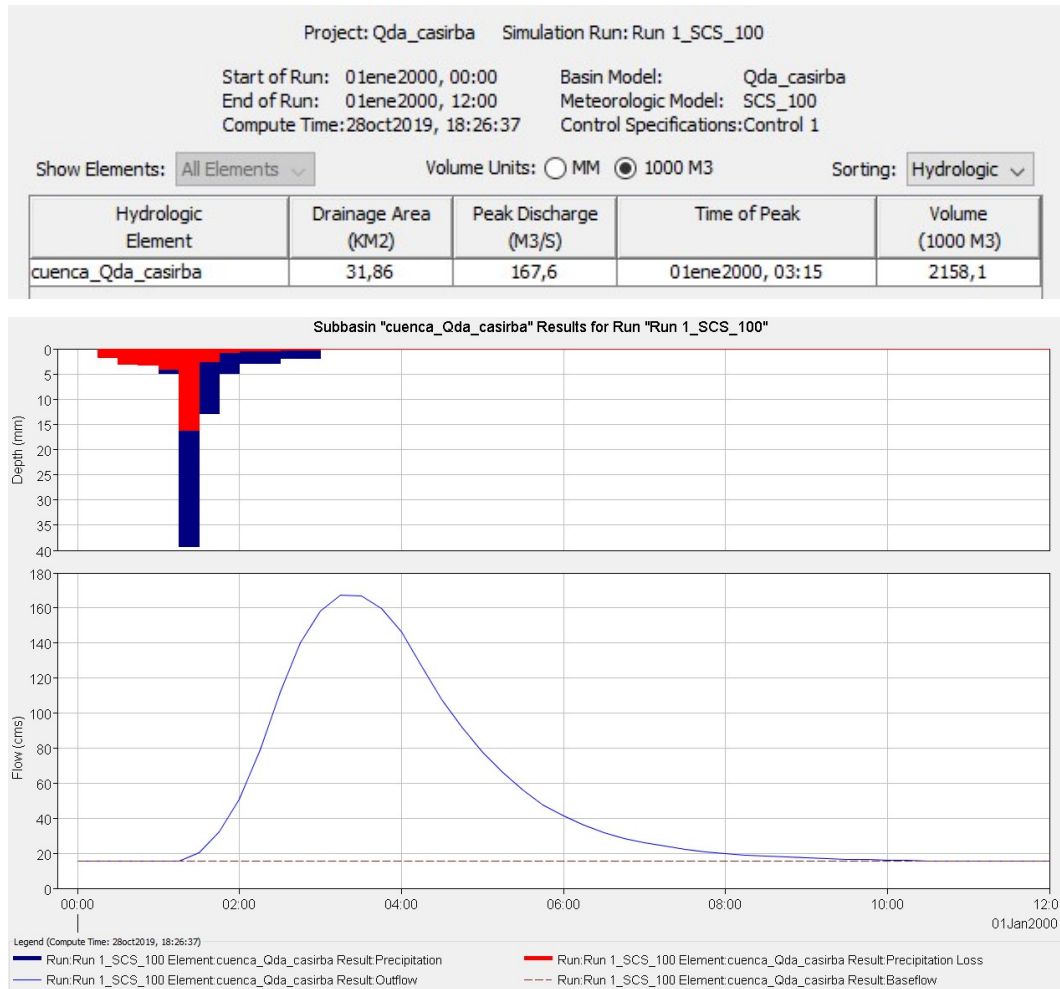




**Figura 7-15.** Modelo Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 50 años.

### 7.7.3 Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 100 años.

Los resultados de la modelación teniendo en cuenta estos parámetros se presentan a continuación:



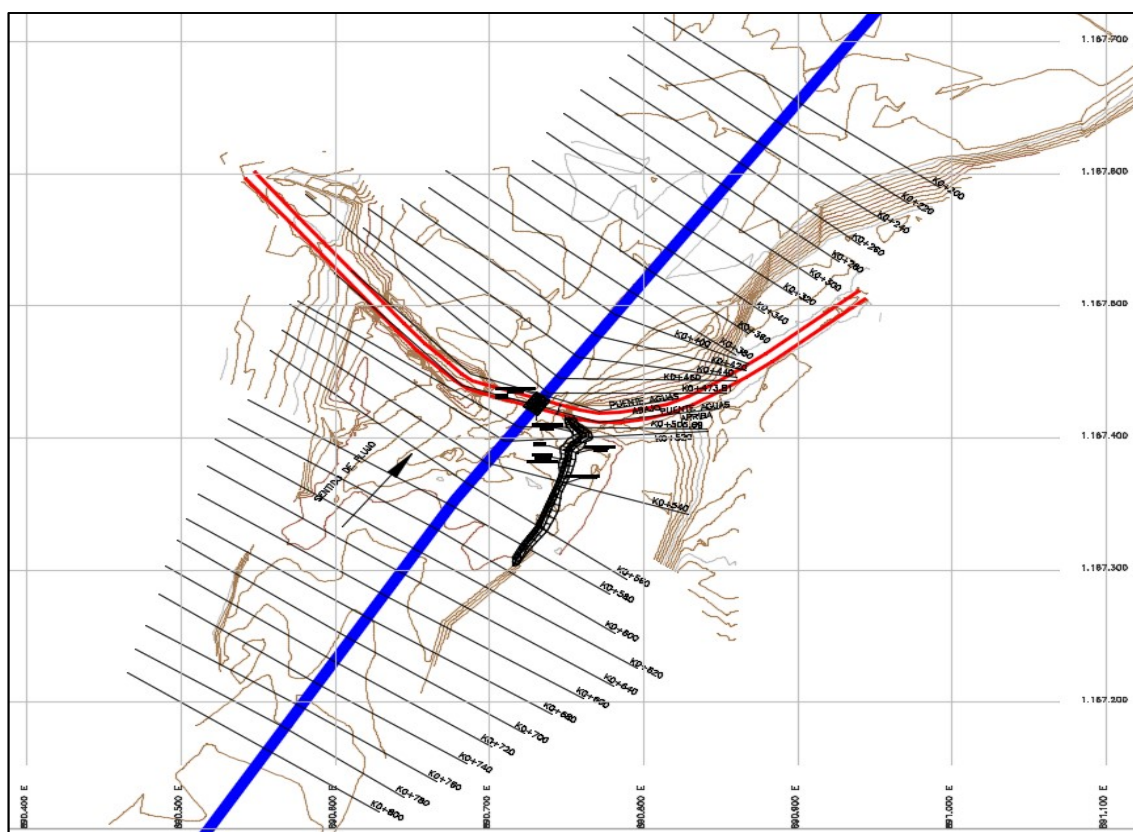
**Figura 7-16.** Modelo Metodología de SCS, con CNIII y Tr de 100 años.

Dado que estos son los caudales más representativos para condiciones extremas, serán los asumidos para desarrollar la modelación hidráulica que se presentará a continuación.

## 8 MODELACIÓN HIDRÁULICA

La modelación hidráulica se realizó en el software en HEC RAS programa de amplio uso y aceptación a nivel global en el análisis de la hidráulica fluvial y que calcula las características hidráulicas del flujo resolviendo la ecuación de energía. Esta modelación consiste en mostrar el nivel de aguas máximas presente en la Quebrada Casirba a la altura del cruce de la vía la Cabuya-Sácama. Para ello se cuenta con un alto porcentaje de incertidumbre y con información limitada que consiste en 31 secciones batimétricas (ver **Figura 8-1**) del sitio en estudio, 16 aguas arriba y 15 aguas abajo del puente con una separación aproximada de 20 m entre cada sección, y algunas fotografías de la zona.

El archivo de modelación y el registro fotográfico se presenta en ANEXO 7 Modelación Hidráulica.



**Figura 8-1.** Planta del levantamiento topobatimétrico de la zona en estudio

## 8.1 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD $\eta$ DE MANNING

El parámetro básico para el análisis preliminar del comportamiento hidráulico de una corriente de agua es el coeficiente de rugosidad. Considerando que existe una vasta experiencia en la estimación del coeficiente correspondiente a la ecuación de Manning, se estimaron valores de coeficiente de Manning para el tramo en estudio de acuerdo con el procedimiento desarrollado por Cowan (Chow, 1994). Los valores estimados se muestran en la **Tabla 8-1**. Estos valores se adoptaron de apreciaciones cualitativas, teniendo como base los registros fotográficos.

**Tabla 8-1.** Estimación del coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning

CONDICIONES DEL CANAL		DESCRIPCIÓN DEL FACTOR	Valor recomendad o	VALOR ADOPTADO		
FACTOR	SIMBOLOGI A			Banca izq.	Canal prin.	Banca der.
Material del fondo del cauce	$n_0$	Suelo fino, tierra	0.020	0.03	0.02	0.03
		Roca o corte en roca	0.025			
		Arena o grava fina	0.024			
		Grava gruesa	0.028			
Irregularidade s del fondo del cauce, grado de irregularidade s	$n_1$	No hay irregularidades, suave	0.000	0.01	0.00	0.01
		Irregularidades menores, menor	0.005			
		Irregularidades moderadas, moderado	0.010			
		Irregularidades severas, severo	0.020			
Cambio de secciones transversales	$n_2$	Gradual	0.000	0.02	0.00	0.02
		Ocasional	0.005			
		Muchos cambios	0.010-0.015			
Obstruccione s a grandes bloques en el cauce	$n_3$	Ninguno	0.000	0.02	0.01	0.02
		Menores	0.010-0.015			
		Apreciables	0.020-0.030			
		Severos	0.040-0.060			
Vegetacion en el cauce	$n_4$	Bajo	.005-0.010	0.01	0.01	0.01
		Media	0.010-0.020			
		Alta	0.025-0.050			
		Muy alta	0.050-0.100			
Meandros y trenzas	$m_5$	Menores (sinuosidad 1,0 a 1,2)	1.00	1.15	1.15	1.15
		Apreciables (sinuosidad 1,2 a 1,5)	1.15			
		Severas (sinuosidad > 1,5)	1.30			
Total ( n = (n0+n1+n2+n3+n4)m5)				0.09	0.05	0.09

**Fuente:** (Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, 1994)

Se resalta zonas con vegetación en la planicie de inundación, la cual se puede considerar inefectiva para el flujo.

## **8.2 GÁLIBOS**

El (Instituto Nacional de vías, 2009), en la sección 7.1.1 de su Manual de Diseño Geométrico de Carreteras versión, dice lo siguiente respecto a los valores mínimos de gálibo de los puentes, requeridos según el tipo de condición:

- Sobre corrientes de agua, relativamente limpias en toda época: mínimo dos metros (2.00 m) por encima del Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (N.A.M.E.).
- Sobre corrientes de agua que en algunos períodos transportan desechos, troncos y otros objetos voluminosos: mínimo dos metros con cincuenta centímetros (2.50 m) por encima del N.A.M.E.
- Sobre carreteras. Mínimo cinco metros (5.00 m), salvo que se estipule un valor mayor para el caso particular.
- Sobre vías férreas. Mínimo cinco metros con cincuenta centímetros (5.50 m), salvo que se estipule un valor mayor para el caso particular.
- Sobre cursos hídricos navegables. Dependerá del calado máximo de navegación, por lo que el valor debe ser definido por el Ministerio de Transporte.”

## **8.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN**

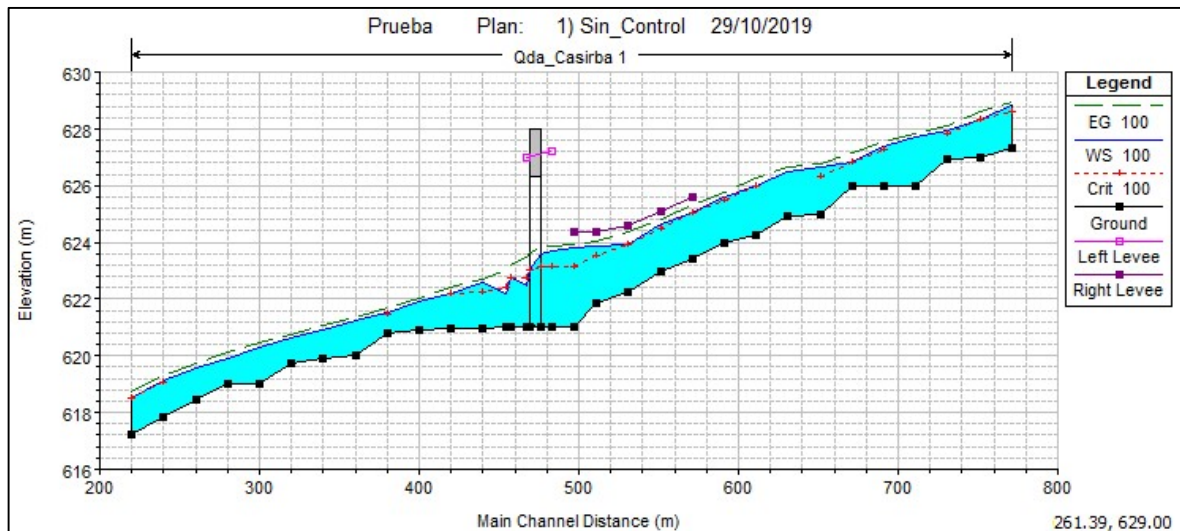
En el ANEXO 7 Modelación Hidráulica, se presentan los resultados de las simulaciones realizadas en HEC-RAS. Los caudales empleados para las corridas corresponden a los periodos de retorno de 2.33, 50 y 100 años, en las condiciones anteriormente descritas.

Dentro de los datos de entrada al modelo se tiene:

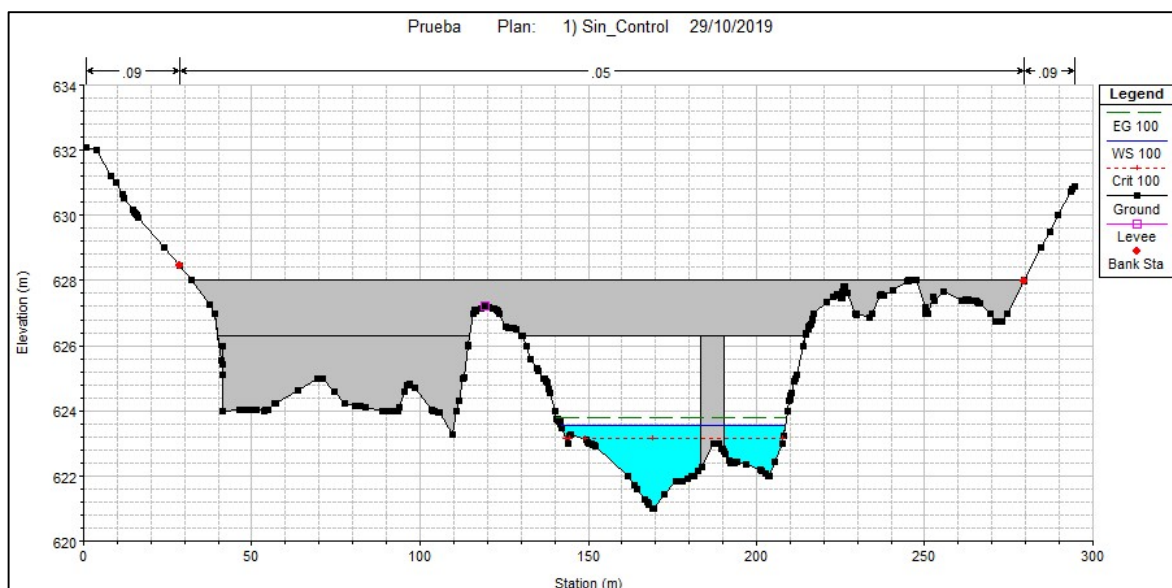
- Régimen del flujo: El programa HEC-RAS permite calcular de manera simultánea flujo de tipo Mixto, es decir, considerándolo subcrítico o supercrítico.
- Altura en la sección transversal inicial y final considerada es de: 0.078 m/m.
- Caudal: correspondiente a los presentados en la **Tabla 7-3** (condiciones extremas).
- Coeficientes de pérdidas de energía, “n” de Manning: correspondientes a 0.09 en las márgenes y 0.05 en el cauce.

### 8.3.1 Perfil y sección del flujo

El perfil de flujo obtenido a lo largo de la corriente para un período de retorno de 100 años se presenta en la **Figura 8-2** y la sección del mismo en la **Figura 8-3**, donde se observa la alta pendiente de la quebrada, con flujo en condiciones variables entre subcríticas y supercríticas con niveles medios de la lámina de agua y relativamente altas velocidades.



**Figura 8-2.** Perfil hidráulico de la Quebrada Casirba (Tr=100años)



**Figura 8-3.** Sección hidráulica de la Quebrada Casirba (Tr=100años)

El resumen de resultados para los periodos de retorno de 2.33, 50 y 100 años se presenta a continuación en la **Tabla 8-2**.

**Tabla 8-2.** Resumen resultados modelos HEC-RAS

Tr (años)	Niveles (m)	
	Puente Quebrada Casirba	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo
<b>2,33</b>	1,88	1,52
<b>50</b>	2,59	1,38
<b>100</b>	2,70	1,45

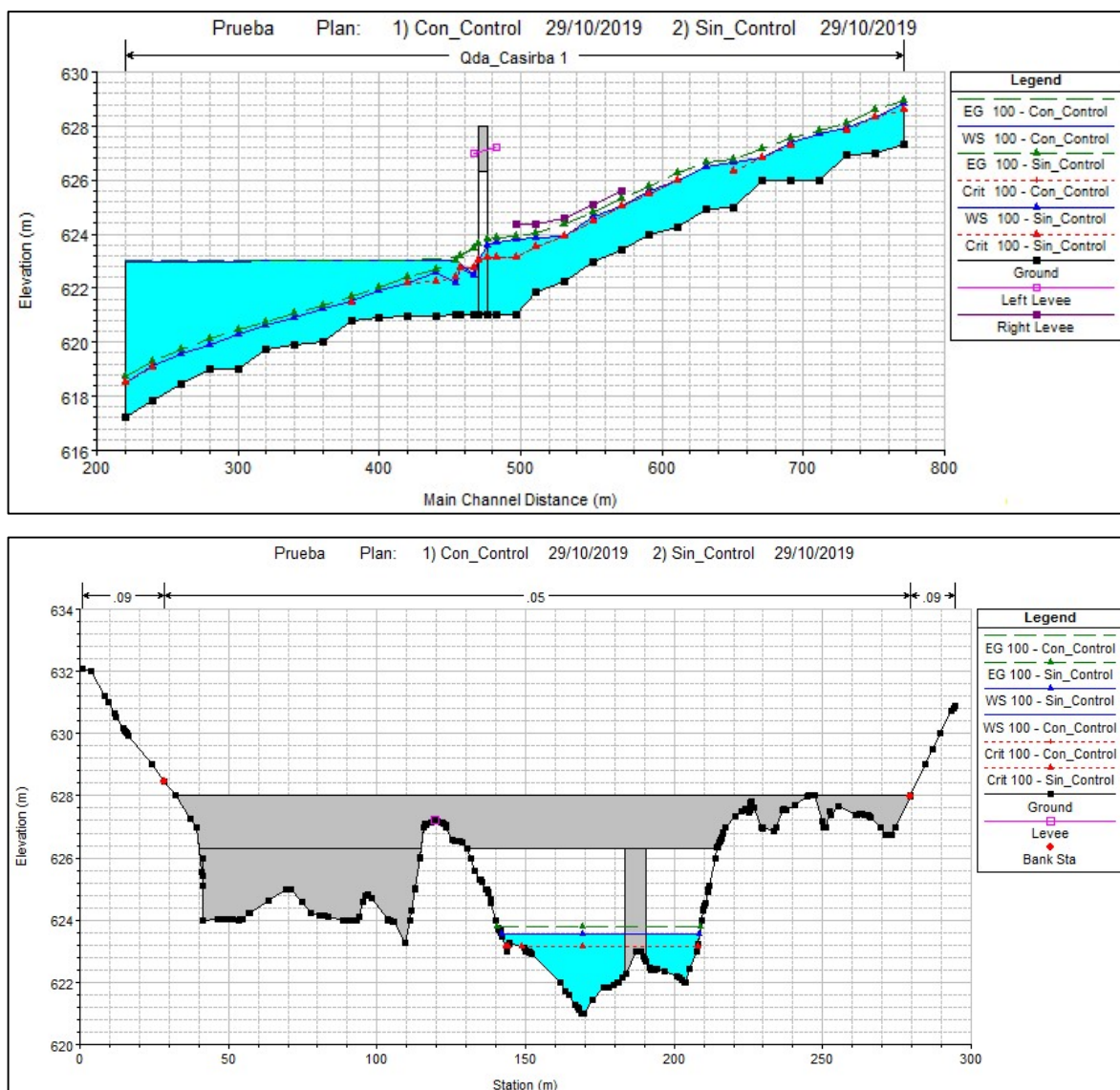
El puente sobre la Quebrada Casirba se encuentra a una altura de 5,40m desde el fondo del cauce de acuerdo a las batimetrías obtenidas, es decir que el gálibo del puente teniendo en cuenta un periodo de retorno de 100 años se encuentra a 2,70 m siendo mayor al mínimo recomendado de 2.5 m por Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009).

#### **8.4 ANÁLISIS DE POSIBLE CONTROL HIDRÁULICO**

Se debe tener en cuenta que la Quebrada Casirba es afluente al Río Casanare, por lo que se debe considerar el río como un posible control hidráulico. Para esto, con un alto nivel de incertidumbre y con respecto a información secundaria y estaciones limnigráficas como (36027010) Puente Quemado y (36027020) La Cabuya operadas por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) se estima que el Río Casanare presenta un comportamiento en niveles aproximadamente de 6 m (Ver ANEXO 7 Modelación Hidráulica).

A continuación, en la **Figura 8-4** se presenta el perfil de flujo y la sección del mismo, obtenido para un período de retorno de 100 años, teniendo en cuenta el Río Casanare como un posible control hidráulico y sin variar las condiciones hidrológicas anteriormente presentadas.





**Figura 8-4.** Perfil y sección hidráulica de la Quebrada Casirba. Teniendo en cuenta el Río Casanare con nivel de 6 m como un posible control hidráulico

En vista que el nivel del Río Casanare es de 6m, la Quebrada Casirba busca empatarse por energía, lo cual hace que se genere un área de inundación hasta el puente.

El resumen de resultados para los periodos de retorno de 2,33, 50 y 100 años teniendo en cuenta el posible control hidráulico se presenta a continuación en la **Tabla 8-2**. Para

evidenciar los cambios de nivel, se muestran cinco registros aguas arriba y cinco registros aguas abajo del puente en estudio.

**Tabla 8-3.** Resumen resultados modelos HEC-RAS. Con el posible control hidráulico  
(Río Casanare)

Tr (años)	Niveles (m)										
	Puente Quebrada Casirba										
	Aguas Arriba					Puente	Aguas Abajo				
2,33	1,17	1,32	1,33	2,15	2,08		2,01	2,00	2,01	2,01	2,04
50	1,57	1,63	1,89	2,67	2,59		1,38	1,97	2,04	2,03	2,05
100	1,64	1,71	2,00	2,78	2,70	1,45	1,93	2,05	2,03	2,05	

El puente sobre la Quebrada Casirba se encuentra a una altura de 5,40m desde el fondo del cauce de acuerdo a las batimetrías obtenidas, es decir que el gálibo del puente teniendo en cuenta un periodo de retorno de 100 años y el posible control hidráulico con un nivel máximo de 2,78 m se encuentra a 2,62 m siendo mayor al mínimo recomendado de 2.5 m por Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009).

## 9 CONCLUSIONES

- Para la caracterización de algunos parámetros morfométricos fue necesario recurrir a información satelital ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite), la cual cuenta con una resolución espacial de la Imagen es de 12,5 m x 12,5 m, con una capacidad de recolección de 50 km x 70 km. (Ingeniería Topográfica y Fotogramétrica, 2019). Teniendo en cuenta esta imagen satelital, se obtuvo la topografía de la zona de estudio y con ellas procesar mediante archivos raster a través del software ArcGis los mapas de elevación y de pendientes media para la cuenca en estudio.

En cuanto a la caracterización morfométrica desarrollada en el ítem 3.3.3 Caracterización morfométrica de la cuenca de estudio, la cuenca Quebrada Casirba tiene 31,86km<sup>2</sup>, presenta un coeficiente de 1,57 lo cual indica que presenta un coeficiente de forma oval redonda a oval oblonga de acuerdo a los estándares de la la FAO (Estudio FAO Riego y Drenaje, 1985). El tiempo de concentración es de 171 min (aproximadamente 3 hr), la Quebrada tiene una longitud de 9,6 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en la margen derecha del Río Casanare y una pendiente de 0,038 m/m y teniendo en cuenta la metodología desarrollada por Morisawa la Quebrada es de tipo Meándrico y moderadamente drenada la cual puede presentar erosión en las márgenes exteriores de las curvas, principalmente en los tramos de aguas abajo.

Cuenta con una elevación media de la cuenca de 914,6msnm y una pendiente media de cuenca del 25,6%, lo cual de acuerdo a la Resolución No. 2965 de septiembre 12 de 1995 emitida por el IGAC se clasifica como una pendiente Fuertemente Quebrado, es decir, son tierras con diferentes formas: Inclinaciones y longitud de pendientes, las cuales pueden ser cortas o largas con lomos redondeados, afilados, o ambos con pendientes

- Para la caracterización hidrológica desarrollada en el ítem 3.3.4 Caracterización Hidrológica, los análisis de precipitación se realizaron para las estaciones cercanas a la zona de estudio, activas y operadas por el IDEAM (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) (36020020) La Cabuya, (36020010) Pte Quemado, (36010020) La

Aguada y (36010030) Sta Rita, de las cuales se concluye mediante polígonos de Thiessen que las estaciones que más influencia tienen sobre la cuenca en estudio son la estación La Cabuya (97%) y estación Pte Quemado (3%).

La estación (36020020) La Cabuya registró una precipitación media multianual de 2870,07 mm y un promedio mensual de 239,17 mm, en el periodo 1984-2016, presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a noviembre. Se registró un promedio de 15 días con precipitación mensual y 185 días anualmente. Además, registró una precipitación promedio máxima en 24 hr de 49,88mm. Mientras que la estación (36020010) Pte Quemado, registró una precipitación media multianual de 3250,37 mm y un promedio mensual de 270,86 mm, en el periodo 1984-2015, presenta un régimen monomodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de abril a octubre. Se registró un promedio de 16 días con precipitación mensual y 191 días anualmente. Además, registró una precipitación promedio máxima en 24 hr de 41,75mm.

Teniendo en cuenta las estaciones La Cabuya y Pte Quemado, se realizó un ajuste estadístico con el propósito de estimar las precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno entre 2,33 – 50 y 100 años, donde la distribución de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbel y de acuerdo a las áreas de influencia sobre la cuenca en estudio las precipitaciones máxima en 24 horas en la cuenca de estudio Qda Casirba se presentan a continuación.

**Tabla 9-1.** Distribución de precipitación máxima en 24 horas en la cuenca de estudio.

<b>PRECIPITACIÓN MÁX 24 hr Cuenca Qda Casirba (mm)</b>	
2,33	105,54
50	166,24
100	178,99

Para conocer el comportamiento espacial de la precipitación, se elaboraron las isoclinas de precipitación total media anual para la zona del proyecto para el periodo 1994-2015 correspondientes al periodo común que tienen las cuatro estaciones anteriormente mencionadas y que cubren todo el trazado en estudio, concluyendo que la precipitación media anual disminuye en sentido oeste este variando desde los 3100 mm hasta los 1800 mm. Se observa que las precipitaciones más altas se presentan en las estaciones Pte Quemado. La estación más cercana a la zona de estudio es La Cabuya y presenta una precipitación total multianual de 2870 mm.

Debido a que sobre la Quebrada Casirba o cerca a ésta no hay estaciones de caudales que permitan determinarlos de manera directa, se utiliza una metodología indirecta o método regional de Transposición que utiliza relaciones precipitación - Área - Caudal y el modelo lluvia escurriente, los cuales permiten conocer los caudales base característicos de la zona de estudio. La estación más cercana que registra parámetros de caudal es la estación 36017030 Pte Carretera, la cual tiene un periodo de registro desde 1997 hasta 2015. Esta estación presenta un comportamiento monomodal donde los meses con caudal por encima del promedio 9,73 m<sup>3</sup>/s son de mayo a octubre. Posteriormente, se realizó un ajuste de distribución para estimar los caudales esperados para los periodos de retorno 2,33 50 y 100 años para la cuenca Qda Casirba los cuales se presenta a continuación.

**Tabla 9-2.** Caudales base para la cuenca Qda Casirba

<b>Parámetros</b>	<b>Cuenca Qda. Casirba</b>
<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	31,9
<b>P (mm)</b>	2864,50
<b>Q (m<sup>3</sup>/s) Tr 2,33 (años)</b>	5,31
<b>Q (m<sup>3</sup>/s) Tr 50 (años)</b>	13,71
<b>Q (m<sup>3</sup>/s) Tr 100 (años)</b>	15,47

Dentro del análisis de número de curva CN, se siguió el proceso descrito en el Manual de drenaje de carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009), necesario para la caracterización de las cuencas del sistema hidrológico en estudio, se considera que la cuenca Qda. Casirba pertenece al grupo de suelo B (CNII 57,4) y C (CNII 71,2) y para condiciones extremas CNIII 86

dado que la precipitación es mayor a 52 mm. Esto a través de promedio aritmético de los valores teniendo en cuenta la clasificación del uso del suelo y su porcentaje de área dentro de la cuenca.

- La caracterización climatológica de la zona de estudio desarrollada en el ítem 3.3.5 Caracterización Climatológica, se realizó con base en los datos registrados en las estaciones operadas por el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales), (36015010) Paz Ariporo y (35235020) Tamara, encontradas en las cercanías del área de estudio y que permiten conocer variables como temperatura, evaporación, humedad relativa, nubosidad, brillo solar, tensión de vapor, entre otras, para periodos comunes de las estaciones identificadas, el cual en la mayoría de los parámetros es de 1996-2017.
- La modelación hidrológica desarrollada en el ítem 7 MODELACIÓN HIDROLÓGICA, se realizó a partir del método del Hidrograma Unitario de la Oficina de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (Ven Te Chow D. M., 1994) y del método de bloques alternos empleando el software HEC-HMS con los datos de entrada presentados en la **Tabla 7-1**. Teniendo en cuenta los resultados de los 9 modelos hidrológicos, se puede concluir que los caudales picos entre las dos metodologías (SCS y BA) usando el mismo periodo de retorno y Grupo hidrológico CNII presentan caudal pico similares. Mientras que si el CNII varía de grupo a CNIII los cambios de caudal pico son altamente notorios dado que este último representa condiciones extremas, por lo tanto los caudales presentados teniendo en cuenta esta última condición son los asumidos para realizar la modelación hidráulica y se presentan a continuación.

**Tabla 9-3.** Resumen resultados modelos HEC-HMS, en condiciones extremas CNIII.

Cuenca Qda. Casirba

Modelo	Tr (años)	Metodología	Caudal máximo (m³/s)	Volumen (m³)
<b>Modelo 7</b>	2,33	SCS	68,3	850,1
<b>Modelo 8</b>	50	SCS	149,2	1922,1
<b>Modelo 9</b>	100	SCS	167,6	2158,1

- La modelación hidráulica desarrollada en el ítem 8 MODELACIÓN HIDRÁULICA, se realizó en el software en HEC RAS. Para ello se cuenta con un alto porcentaje de incertidumbre y con información limitada que consiste en 31 secciones batimétricas (ver **Figura 8-1**) del sitio en estudio, 16 aguas arriba y 15 aguas abajo del puente con una separación aproximada de 20 m entre cada sección, y algunas fotografías de la zona. El coeficiente de Manning para el tramo en estudio se estimó de acuerdo con el procedimiento desarrollado por Cowan (Chow, 1994) 0.09 para las bancas izquierda y derecha y 0.05 para el fondo del canal. De acuerdo al registro fotográfico se resalta zonas con vegetación en la planicie de inundación, la cual se puede considerar inefectiva para el flujo.

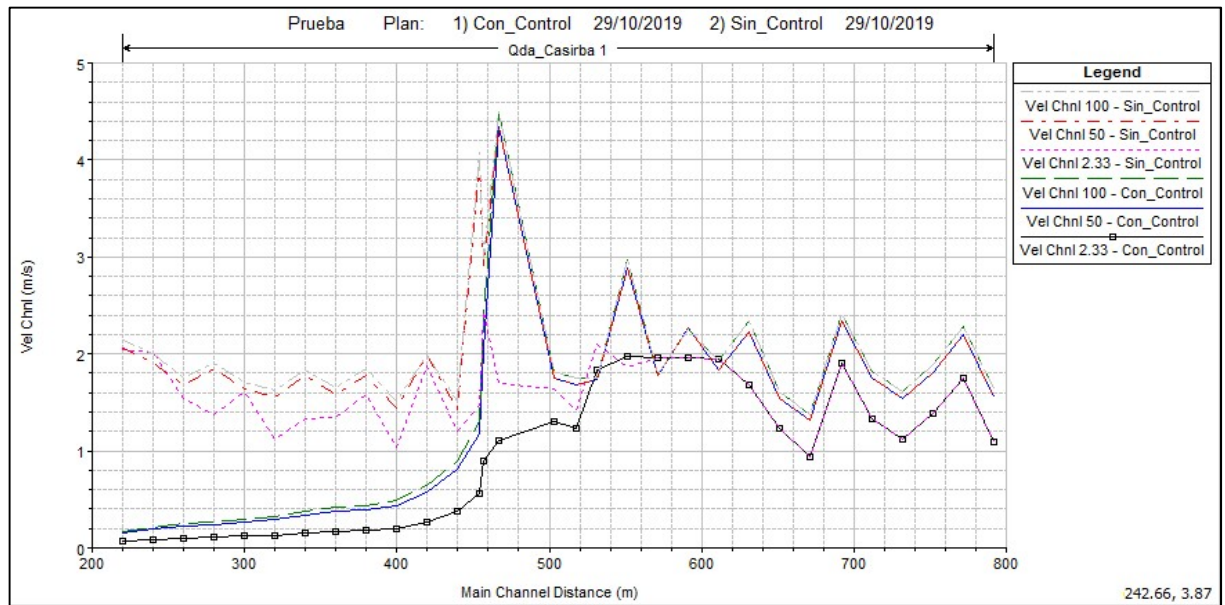
Se realizó una modelación hidráulica en condiciones hidrológicas extremas para los periodos de retorno de 2,33, 50 y 100 años y se observa la alta pendiente de la quebrada, con flujo en condiciones variables entre subcríticas y supercríticas con niveles medios de la lámina de agua y relativamente altas velocidades.

Teniendo en cuenta que el puente sobre la Quebrada Casirba se encuentra a una altura de 5,40 m desde el fondo del cauce de acuerdo a las batimetrías obtenidas y para un periodo de retorno de 100 años, el gálibo se encuentra a 2,70 m siendo mayor al mínimo recomendado de 2.5 m por Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009).

Para el análisis del posible control hidráulico, se observa que el nivel del Río Casanare es de 6m, la Quebrada Casirba busca empatarse por energía, lo cual hace que se genere un área de inundación hasta el puente. Este efecto se considera que no es permanente dado que las láminas de flujo del Río no son homogéneas y son variables en el tiempo. En cuanto al gálibo del puente y para un periodo de retorno de 100 años se encuentra a 2,62 m, mayor al mínimo recomendado de 2.5 m por Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009).

Además, se puede interpretar que la variación de la velocidad que se da cuando existe un control hidráulico aguas abajo, en este caso el control hidráulico está dado por el Río Casanare el cual se puede evidenciar en la **Figura 9-1**, en donde la atenuación de la velocidad es

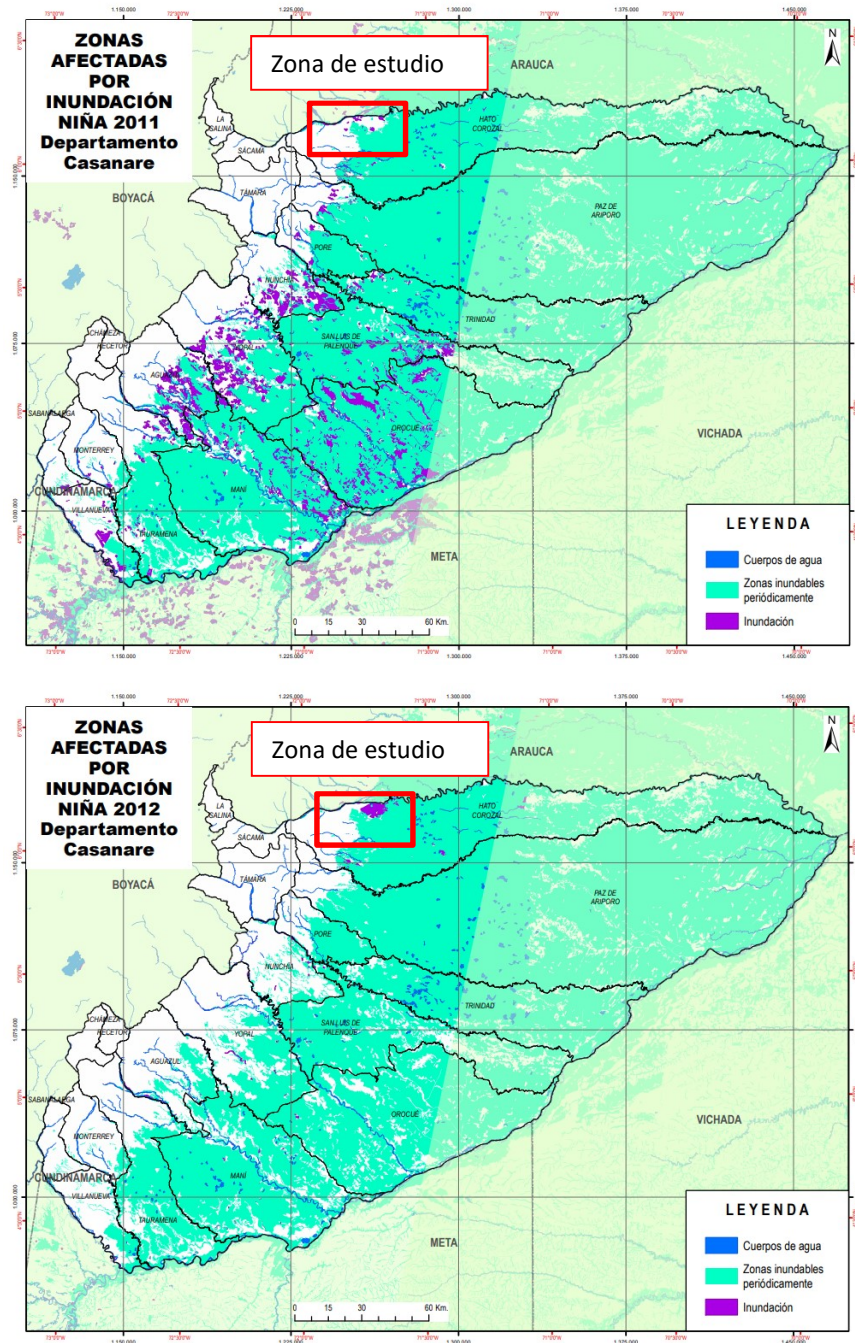
precisamente para llegar a su estabilidad energética en la entrega al Río. También se puede apreciar que si el nivel en el Río Casanare es muy bajo las velocidades en la Quebrada Casirba no van a disminuir.



**Figura 9-1.** Variación de velocidades de la modelación hidráulica

Teniendo en cuenta la atenuación de la velocidad al producirse el empate de energías entre la Quebrada Casirba y el Río Casanare, provoca que aguas abajo del puente se genere una mancha de inundación el cual mediante la información del IDEAM en el documento Memoria descriptiva mapas de inundación departamento de Casanare, en el marco de análisis para establecer las áreas afectadas por los efectos hidrometeorológicos del evento La Niña 2010-2011, el cual realizó la interpretación de imágenes de sensores remotos para los sitios donde se disponía de dichas imágenes satelitales en esa época, donde se evidencia que la zona en estudio presentó inundaciones, lo que podría corroborar el presente estudio.



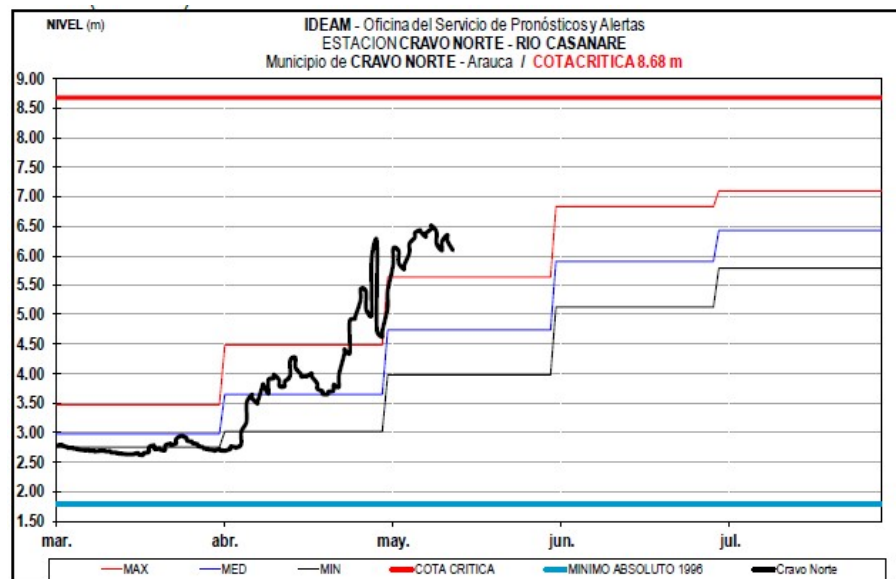


**Figura 9-2.** Zonas afectadas por inundación. Departamento del Casanare. (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014)

De acuerdo a lo comentado por la comunidad de la zona de estudio en cuanto a que los niveles de la Quebrada ha llegado hasta el gálibo del puente, no pudo ser comprobado teniendo

en cuenta las modelaciones desarrolladas en las cuales se aprecia una distancia de entre 2,70 y 2,60 siendo mayor al mínimo recomendado de 2.5 m por Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de vías, 2009).

Se podría asumir que el posible evento evidenciado por la comunidad donde la lámina de agua llegaba al gálibo del puente fue para un periodo de retorno mayor de 100 años y es aceptable en vista que como lo registra el informe hidrológico diario No. 134, 2016 (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) (ver **Figura 9-3**), el Río Casanare ha llegado a presentar niveles de hasta 8 m.



**Figura 9-3.** Variación de niveles del Río Casanare. Informe hidrológico diario No. 134, 2016

Finalmente y de acuerdo al estudio realizado, se puede evidenciar que el puente actualmente cuenta con la cota mínima para que la hidráulica de flujo de la Quebrada Casirba no presente alteraciones ante eventos de crecientes.

## **10 RECOMENDACIONES**

Es necesario instalar una mira en cualquier parte del estribo del puente que permita registrar los niveles de la Quebrada Casirba, especialmente de los niveles máximos teniendo en cuenta que no se cuenta con estaciones en la zona o en sus alrededores que registre y provea información de dicho parámetro o si es posible instalar estaciones. El uso de metodologías de indirectas de medición puede llegar a tener un porcentaje de incertidumbre asociada a la precisión.

Se recomienda hacer un análisis de empate de energías y efecto de remanso hidráulico de la Quebrada Casirba para tener una apreciación modelada de los efectos que estos producen con los niveles máximos del Río Casanare, su intervalo de tiempo de afectación y la velocidad de flujo.

## **11 ANEXOS**

**ANEXO 1** Marco Demográfico

**ANEXO 2** Caracterización Morfométrica.

**ANEXO 3** Estaciones IDEAM

**ANEXO 4** Caracterización Hidrológica

**ANEXO 5** Caracterización Climatológica

**ANEXO 6** Modelación Hidrológica

**ANEXO 7** Modelación Hidráulica

## 12 BIBLIOGRAFÍA

(ONI), B. o. (April de 2019). *El Niño and La Niña Years and Intensities*. Obtenido de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

Casanare, A. M. (2012-2015). *Plan de Desarrollo del Municipio de Hato Corozal*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/hatocorozalcasanarepd20122015.pdf>

Casanare, A. M. (Mayo de 2016-2019). *Plan de Desarrollo del Municipio de Paz de Ariporo*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pazdeariporocasanarepd20122015.pdf>

Casanare, A. M. (2016-2019). *Plan de Desarrollo del Municipio de Pore*. Obtenido de [https://porecasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/porecasanare/content/files/000196/9777\\_formato\\_201813\\_fia\\_cdcas\\_planestrategicoosuequivalente.pdf](https://porecasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/porecasanare/content/files/000196/9777_formato_201813_fia_cdcas_planestrategicoosuequivalente.pdf)

Casanare, A. M. (2016-2019). *Plan de desarrollo Unidos construyendo el cambio con un gobierno para todos*. Sácamá Casanare.

Casanare, A. M. (s.f.). *Plan de Desarrollo del Municipio de Yopal* . Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnóstico%20-%20yopal%20\(299%20pag%20-%203142%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnóstico%20-%20yopal%20(299%20pag%20-%203142%20kb).pdf)

Cinaruco, L. v. (07 de 09 de 2016). *Puente amenaza con colapsar en el Piedemonte Araucano*. Obtenido de <https://lavozdelcinaruco.com/15353-puente-amenaza-con-colapsar-en-el-piedemonte-araucano--#.XK6wAv4lfIW>

Cudworth, A. G. (1992). *Flood Hydrology Manual* . Denver, Colorado: Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office.

Engineers, H. E. (2010). *Manual Hec - Hms*.

(1985). *Estudio FAO Riego y Drenaje*.

Hacienda, M. d. (29 de 12 de 2014). Contrato No. 237 de 2014, para la construcción del puente vehicular "Lopeño" ubicado en la vía Sácama-La Cabuya, en el departamento de Arauca. Bogotá, Colombia.

Henry, M. M. (1986). *Hidrología Básica, Tomo I, II y III*. Universidad del Valle.

Hoggan. (1990). *Computer Assisted Floodplain Hydrologic & Hydraulics*.

IDEAM. (2014). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>

IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A.

IGAC. (2019). *Datos abiertos, subdirección de Agrología*. Obtenido de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>

*Ingeniería Topográfica y Fotogramétrica*. (2019). Obtenido de <https://ingenieriatopografica.fandom.com/es/wiki/ALOS>

Instituto Nacional de vías, I. (2009). *Manual de drenaje de carreteras*. Bogotá.

Materón M. Hernán y Jiménez E. Henry. (1986). *Hidrología Básica, Tomo I, II y III*. Universidad del Valle.

Maza, J. G. (s.f.). *Morfología de Ríos*.

Ospina, J. J. (2002). *Diseño geométrico de vías, ajustado al manual colombiano*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

*Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. (2016). Obtenido de [http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)

públicas, S. d. (2010-2019). *Plan vial departamental de Casanare*. Gobernación de Casanare.

Rodrigo Vargas, M. D. (1998). *Curvas sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Regionalización e implementación de un SIG*. Santa Fé de Bogotá : Universidad de Los Andes.

*Tierra Colombiana, Municipios de Casanare* . (9 de 2016). Obtenido de <https://tierracolombiana.org/municipios-de-casanare/>

US Army Corps of Engineers, H. E. (2010). *Manual Hec - Hms*.

Vargas, R., & Díaz Granados, M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia*. Bogotá, D.C.: Universidad de Los Andes.

Ven Te Chow. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Mc Graw Hill.

Ven Te Chow. (1994). *Hidrología aplicada*. Santa Fe de Bogotá: Mc Graw Hill.

World Meteorological Organization. (1994). *Guide to Hidrological Practices, Data Acquisition and processing, Analysis, Forecasting and Other Applications*.

Yopal, V. d. (12 de 05 de 2016). *Adjudicado contrato de la vía entre Belén-Sácama*. Obtenido de <https://www.lavozdeyopal.co/adjudicado-contrato-de-la-via-entre-belen-sacama/>